

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra Elektroenergetiky**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Analýza kvality napětí z obnovitelných zdrojů  
Analysis of Voltage Quality from Renewable Energy Sources

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Nieslanik**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Analýza kvality napětí z obnovitelných zdrojů.**  
**Analysis of Voltage Quality from Renewable Energy Sources**

Zásady pro vypracování:

1. Definice a limity parametrů napětí
2. Rozbor kvality napětí z větrné elektrárny
3. Rozbor kvality napětí z fotovoltaické elektrárny
4. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ČSN EN 50160
2. Pravidla provozování distribučních soustav
3. Mišák, S., Prokop, L., Krejčí, P., Sikora, T.: Provoz větrných elektráren s měniči frekvence. In Elektro - odborný časopis pro elektrotechniku, 2008, vol. 18, čís. 10, 4-8
4. Mišák, S., Prokop, L.: Problem of Wind Power Plant Engineering in the. In Proceedings of the 2nd International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 2009, 100-115, Instituto Politécnico De Setúbal, Universidade de Lisboa

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.  
děkan fakulty

**Prohlášení Studenta:**

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne .....

Podpis.....

## **Poděkování:**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Lukáši Prokopu, Ph.D. za odbornou pomoc, připomínky a cenné rady při zpracovávání bakalářské práce.

## **Abstrakt:**

Tato bakalářská práce se zabývá větrnými a fotovoltaickými elektrárnami. Jejich funkci a principy. Zabývá se problematikou rychlosti větru, větrnými motory. Dále problematikou slunečního záření principem činnosti fotovoltaiky a základními vlastnostmi fotovoltaických panelů. Informuje o současném stavu větrné a fotovoltaické energetiky ve světě i v České republice, zabývá se lokalitami vhodnými k dalšímu rozšíření těchto zdrojů. Dále popisuje podmínky pro připojení obnovitelných zdrojů do elektrizační soustavy podle PPDS a normy ČSN EN 50160. V praktické části je nejdříve proveden rozbor vybraných parametrů napětí z větrné elektrárny. Jedná se o výkonovou křivku, kolísání napětí a dlouhodobou míru vjemu flikru. Poslední část je zaměřená na největší problém fotovoltaických elektráren z hlediska kvality napětí a to je dlouhodobá míra vjemu flikru.

## **Abstract:**

This bachelor thesis deals with the wind and photovoltaic power stations, its function and principles. This work deals with the issues of wind speed, wind engines, further problems with the principles of solar photovoltaic and basic properties of photovoltaic panels. It informs about the current state of wind and solar energy in the world and in the Czech Republic, deals with sites suitable for further expansion of these resources. Also it describes the conditions for the connection of renewable sources into the electricity system under and PPDS standard ISO 50160<sup>th</sup>. At first the analysis of the chosen voltage parameters from wind power is realized in the practical part. The voltage fluctuations and the long-term rate of the flicker were analyzed. The last part is focused on the biggest problem of the photovoltaic powers on the quality of voltage and it is a long-term severity of flicker.

## **Klíčová slova:**

Obnovitelné zdroje, větrná energie, větrné turbíny, fotovoltaický článek, fotovoltaické panely, solární energie, ČSN EN 50160, PPDS, kvalita napětí, zpětné vlivy, flikr, výkonová křivka.

## **Key-words**

Renewable Energy Sources, Wind Power, Wind Turbine, Photovoltaic Cell, Photovoltaic Panels, Solar Power, IEC 50160, PPDS, Voltage Quality, Back influence, Flicker, Power Curve.

## Seznam použitých zkratk a symbolů

ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
ČR	Česká republika
ČSN	České technické normy
ČSU	Český statistický úřad
DS	Distribuční soustava
FVE	Fotovoltaická elektrárna
f	Frekvence
HDO	Hromadné dálkové ovládání
nn	Nízké napětí
P	Činný výkon
$P_i$	Instalovaný činný výkon
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav
U	Napětí
UFA	Ústav fyziky a atmosféry Akademie věd ČR
VTE	Větrná elektrárna
vn	Vysoké napětí
$W_p$	Špičkový výkon
U	Napětí
$\Delta U$	Změna napětí

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Teoretický rozbor větrné energetiky .....	3
2.1	Vítr .....	3
2.2	Rozdělení větrných motorů .....	4
2.3	Regulace větrných motorů .....	5
2.4	Rozdělení větrných elektráren .....	6
2.5	Strojovna větrné elektrárny .....	6
2.6	Větrná energetika celosvětově .....	7
2.7	Větrná energetika v České republice .....	7
2.7.1	Lokality v ČR, vhodné k výstavbě VTE: .....	7
2.7.2	Současný stav VTE v ČR .....	8
2.8	Problémy vyplývající z provozu VTE .....	9
2.9	Zkušenosti z provozu větrného parku Kryštofovy Hamry .....	10
3	Teoretický rozbor fotovoltaické energetiky .....	11
3.1	Sluneční záření .....	11
3.2	Princip činnosti fotovoltaiky .....	11
3.3	Rozdělení fotovoltaických článků .....	12
3.4	FV panely .....	13
3.5	FV elektrárny .....	13
3.6	FV ve světě .....	14
3.7	Fotovoltaická energetika v ČR .....	15
3.7.1	Současný stav FVE v ČR .....	15
3.7.2	Lokality v ČR, vhodné k další výstavbě .....	16
4	Definice a limity parametrů napětí .....	17
4.1	Kmitočet napájecího napětí .....	17
4.2	Kolísání napětí .....	17
4.3	Rychlá změna napětí .....	18
4.4	Krátkodobý pokles napájecího napětí .....	19
4.5	Přerušení napájecího napětí .....	19
4.6	Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu .....	20
4.7	Přechodná přepětí .....	20
4.8	Nesymetrie napájecího napětí .....	20
4.9	Harmonické napětí .....	20
4.10	Meziharmonické napětí .....	21
4.11	Ovlivnění zařízení HDO .....	21
5	Rozbor kvality napětí z větrné elektrárny .....	22
5.1	Popis elektrárny .....	22
5.2	Lokalita VTE Veselí u Oder .....	23
5.3	Vlastní měření .....	23
5.3.1	Výkonová křivka .....	24
5.3.2	Změny napětí .....	24
5.3.3	Dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt}$ .....	25
5.4	Celkové zhodnocení sledovaných parametrů VTE .....	26
6	Rozbor kvality napětí z fotovoltaické elektrárny .....	27
6.1	Popis elektrárny .....	27
6.2	Lokalita FVS Sudkov .....	28
6.3	Vlastní měření .....	29
6.3.1	Dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt}$ .....	29
6.4	Celkové zhodnocení sledovaných parametrů FVE .....	32
7	Závěr .....	33
8	Použitá literatura .....	35

## Seznam obrázků

Obr. 1 Mapa rychlosti větru v m/s ve výšce 100m .....	3
Obr. 2 Odporové rotory a) Savonius, b) s krycím štítem c) s natáčivými lopatkami .....	4
Obr. 3 Vztlakové rotory.....	4
Obr. 4 Různé typy Darrieuova rotoru. ....	5
Obr. 5 Větrná elektrárna tvořena Savoniovým a Darrieuovým rotorem .....	5
Obr. 6 Větrné elektrárny Pchery .....	5
Obr. 7 Schéma větrné elektrárny Vestas V90 .....	6
Obr. 8 Celkový světový instalovaný výkon VTE 2009 .....	7
Obr. 9 Výsledná mapa lokalit vhodných pro výstavbu VTE.....	8
Obr. 10 Přímé a difúzní záření v podmínkách ČR .....	11
Obr. 11 Schematické znázornění funkce solárního článku .....	12
Obr. 12 Druhy fotovoltaických článků a) amorfní b) polykrystalický c) monokrystalický .....	12
Obr. 13 Pokles účinnosti v závislosti na čase .....	13
Obr. 14 a) Stavba FV panelu, b) Stavba FV pole .....	13
Obr. 15 Blokové schéma možného připojení FVE k přenosové soustavě.....	14
Obr. 16 FVE a) Malá střešní instalace b) Volně stojící instalace .....	14
Obr. 17 Rozložení světového instalovaného výkonu FVE.....	15
Obr. 18 Fotovoltaické elektrárny v ČR, stav k 1.4.2010 .....	15
Obr. 19 Sluneční záření a elektrický potenciál v ČR .....	16
Obr. 20 VTE V90, Veselí u Oder .....	22
Obr. 21 Lokalita VTE Veselí u Oder.....	23
Obr. 22 Zjednodušené schéma připojení VTE k paprsku.....	23
Obr. 23 Výkonové křivka elektrárny Vestas V90 .....	24
Obr. 24 Vliv dodávaného výkonu z VTE na $\Delta U$ .....	25
Obr. 25 Vliv dodávaného výkonu z VTE na $P_{lt}$ .....	25
Obr. 26 FVE Sudkov .....	27
Obr. 27 Měnič KACO .....	28
Obr. 28 Lokalita FVE Sudkov.....	28
Obr. 29 Vliv dodávaného výkonu z FVS na $P_{lt}$ .....	29
Obr. 30 Vliv dodávaného výkonu $P_1$ z FVE na $P_{lt}$ .....	30
Obr. 31 Vliv dodávaného výkonu $P_2$ z FVE na $P_{lt}$ .....	30
Obr. 32 Vliv dodávaného výkonu $P_3$ z FVE na $P_{lt}$ .....	31
Obr. 33 Vliv dodávaného výkonu na flickr.....	31

## Seznam tabulek

Tab. 1 Instalovaný výkon větrných elektráren v jednotlivých krajích, 31.12.2009.....	8
Tab. 2 Roční výkonové poměry větrného parku Kryštofovy Hamry .....	10
Tab. 3 Limitní hodnoty kmitočtu.....	17
Tab. 4 Úroveň jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě .....	21
Tab. 5 Přípustné hodnoty HDO .....	21
Tab. 6 Technické parametry VTE Veselí u Oder .....	22
Tab. 7 Technické parametry použitých panelů.....	27
Tab. 8 Parametry ochrany PAJRAN .....	28



## 1 Úvod

Většina spotřeby elektrické energie je současně kryta ze zdrojů spalujících fosilní paliva. Jejich zásoby se ovšem stále zmenšují, proto je nutné minimalizovat spotřebu z těchto zdrojů a zaměřit se daleko více na obnovitelné zdroje. Obnovitelné zdroje jsou nevyčerpatelné zdroje elektrické energie. Za obnovitelné zdroje se považuje energie sluneční a z jejího působení odvozenou energii větrnou, vodní, rostlinnou a geotermální. Roční potenciál obnovitelných zdrojů je odhadován na 6,7 TWh [1]. Proto je nutné pokusit se ho využívat co nejlépe. Další obrovskou výhodou obnovitelných zdrojů je, že neznečišťují životní prostředí. Využívání obnovitelných zdrojů v maximální míře je jeden z bodů energetické politiky EU. Česká republika se v přístupové dohodě z Atén (z roku 2003) zavázala, že v letošním roce dosáhne podíl výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů osm procent. Proto je elektřina z obnovitelných zdrojů podporována výhodnými výkupními cenami, případně zelenými bonusy. Reakcí na cenovou politiku se nejvíce rozmáhají elektrárny větrné a hlavně fotovoltaické. V současné době je v ČR instalovaný výkon větrných elektráren 192 MW a fotovoltaických elektráren 491 MW [11].

Mohlo by se zdát, že výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů se jeví jako ideální, bezproblémový způsob získávání energie. Nicméně skutečnost je naprosto jiná. Tyto zdroje přinášejí řadu problému a nebýt zmíněné dohody z Atén, tak jejich zastoupení v energetické soustavě by pravděpodobně bylo nepatrné. Negativní vlivy z těchto výroben jsou nejvíce přenášeny na elektrizační soustavu. Základní problematika řízení elektrických soustav spočívá v udržování rovnováhy mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. Chce-li provozovatel přenosové soustavy udržet chod soustavy v požadovaných limitech, musí stále monitorovat současnou spotřebu elektrické energie a výkonovou bilanci vyrovnávat pomocí podpůrných služeb. V opačném případě by nebylo možné udržet nejpodstatnější parametry sítě. Mezi něž patří frekvence a nepřerušovaná dodávka elektrické energie. K podpůrným službám patří rezervy elektrické energie, které jsou drženy v elektrárnách uhelných, vodních a plynových. Se zabudováváním velkého množství instalovaného výkonu větrných a fotovoltaických elektráren do sítě, se zvyšuje kapacita potřebné výkonové rezervy, která musí krýt instalovaný výkon těchto zdrojů v případě špatných povětrnostních nebo slunečních podmínek. Což způsobí růst ceny systémových služeb. Mezi další negativní vlivy obnovitelných zdrojů patří spínací přepětí, vznik flikru, harmonické proudy a další. Zpětné vlivy těchto zařízení lze minimalizovat filtračně kompenzačními zařízeními, aktivními filtry. Další značný problém obnovitelných zdrojů je nízký koeficient ročního využití. Sítě musí být dimenzovány na jmenovitý výkon výroben, ale přenos skutečného vyrobeného výkonu je mnohem nižší. V roce 2008 byl, podle ČSU, koeficient využití větrných a fotovoltaických elektráren 15,5%. Mezi další problematiku patří množství zastavěné plochy. Teoreticky by pro nahrazení jednoho bloku Temelína bylo potřeba 800 větrných elektráren, o instalovaném výkonu 3 MW, s průměrnou dobou provozu na plný výkon 2500 hodin. Jak je vidět přináší rozšíření obnovitelných zdrojů řadu pozitivních, ale taky mnoho negativních následků. Předmětem této práce je analyzovat vybrané zpětné vlivy elektrárny větrné a fotovoltaické.

V teoretickém rozboru větrné energetiky jsem se zaměřil na problematiku rychlosti větru, větrných motorů a jejich regulaci. Dále pak na aktuální situaci větrných elektráren ve světě i v České republice, na lokality vhodné k jejich rozšíření a také na zkušenosti a problémy vyplývající z provozu větrných elektráren.

Teoretický rozbor fotovoltaické energetiky je zaměřen na problematiku slunečního záření, princip činnosti a rozdělení fotovoltaických článků. Dále pak na aktuální situaci fotovoltaiky ve světě i v České republice, možnosti jejich rozšíření a aktuální problematiku sítě způsobenou prudkým rozvojem fotovoltaiky.

Výroba elektrické energie pomocí větrných a fotovoltaických elektráren přináší řadu problémů. Tyto výroby totiž mají negativní vliv na kvalitu napětí v elektrické síti. Z tohoto důvodu je nutné monitorovat a udržovat stav výstupního napětí, z těchto zdrojů, v požadovaných mezích. Problematikou kvality napětí se zabývá norma ČSN EN 50160. Všechny výroby připojené do distribuční sítě musí plnit pokyny popsané v PPDS. Proto pokynům popsáným v PPDS a normě ČSN EN 50160 je věnována tato kapitola.

Kapitola rozbor kvality napětí z větrné elektrárny informuje o větrné farmě Veselí u Oder, kde pracují dvě elektrárny typu Vestas V90. Po zadání několika základních informací o parku, následuje analýza vybraných parametrů napětí z této výroby. Jedná se o parametry, které jsou nejčastěji překračovány. Jedná se o kolísání napětí a dlouhodobou míru vjemu flikru. Sestrojená je taky výkonová křivka.

Poslední kapitola je zaměřena na fotovoltaickou elektrárnu Sudkov, její konstrukci a umístění. Dále je proveden rozbor vybraného parametru napětí této výroby. Jedná se dlouhodobou míru vjemu flikru, protože tento parametr nejčastěji překračuje stanovené meze.

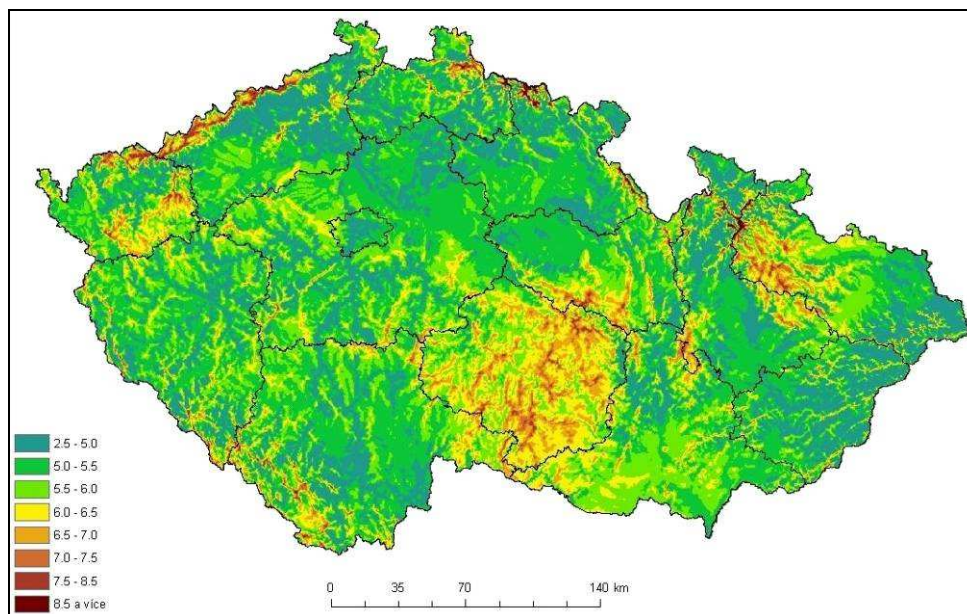
## 2 Teoretický rozbor větrné energetiky

Zvýšený zájem o větrnou energetiku se projevil v sedmdesátých letech minulého století. Způsobil ho prudký vzestup ceny paliv a zvýšená péče o životní prostředí. Nejvýhodnější podmínky pro využívání větrné energie jsou v přímořských oblastech. Proto je největší zájem o větrnou energetiku v Nizozemsku, Německu, Dánsku, Velké Británii a Francii.

### 2.1 Vítr

Vítr vzniká v atmosféře na základě rozdílu atmosférických tlaků jako důsledku nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu [3]. Studený vzduch klesá k zemi a vytlačuje teplý vzduch nahoru. Tento jev, spolu s otáčením naší planety způsobuje proudění vzduchu, které je dále ovlivněno rázem krajiny, vegetací a vodní plochou. Působením aerodynamických sil na listy rotoru převádí větrná turbína umístěná na stožáru energii větru na rotační energii mechanickou, která je prostřednictvím generátoru zdrojem elektrické energie [3].

Pro charakteristiky průběhu rychlosti větru se používají matematicko-fyzikální modely. Tyto modely jsou založeny na měřeních směru a rychlosti větru. Mezi nejznámější patří modely WAsP, VAS a PIAP. S těmito modely pracují UFA i ČHMU. Na Obr. 1 je zobrazena výsledná mapa rychlosti větru v České republice ve výšce 100 m.



Obr. 1 Mapa rychlosti větru v m/s ve výšce 100m [4].

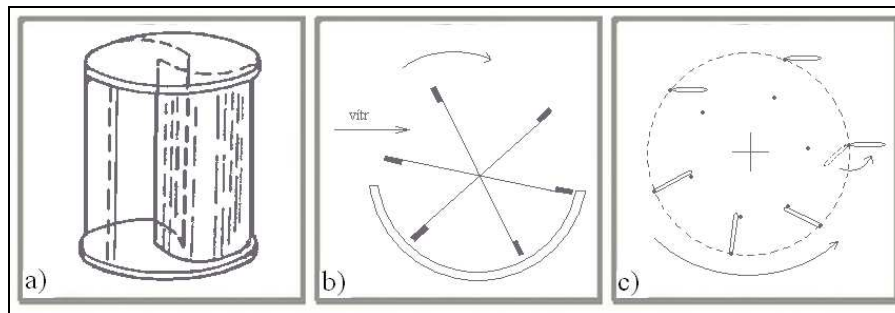
Větrné elektrárny začínají pracovat při rychlosti větru  $3 - 5,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , při rychlostech  $13 - 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  elektrárna pracuje s jmenovitým výkonem. Při rychlostech větru nad  $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  dochází k zastavení motoru a k jeho odstavení. Moderní větrné motory se svislou osou mohou pracovat při rychlostech až kolem  $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Větrná elektrárna Veselí u Oder pracuje při rychlostech větru  $3,5 - 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Jmenovitého výkonu dosahuje při rychlosti větru  $13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 2.2 Rozdělení větrných motorů

Podle aerodynamického přístupu se větrné motory dělí na vztlakové a odporové

- Větrné motory pracující na odporovém principu

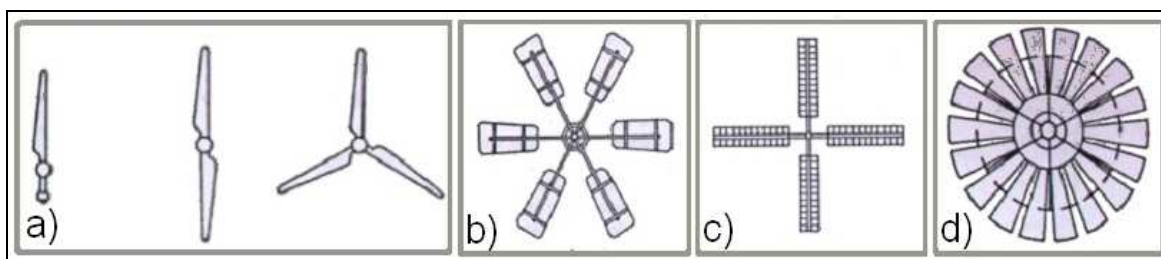
Jedná se o nejstarší větrné motory. Osu otáčení mohou mít vodorovnou i svislou. Plocha nastavená proti větru klade aerodynamický odpor. Tím na ní působí síla, která je mechanicky přeměňována na rotační pohyb. Na tomto principu je například založen rotor Savonius, rotor s krycím štítem anebo rotory s natáčivými lopatkami, které jsou zobrazeny na Obr. 2.



Obr. 2 Odporové rotory a) Savonius, b) s krycím štítem c) s natáčivými lopatkami [17].

- Větrné motory pracující na vztlakovém principu  
s horizontální osou otáčení:

Jedná se o vrtule a větrná kola s vodorovnou osou, orientovány svoji rovinou otáčení, kolmo ke směru větru, a to buď ručně nebo pomocí směrových kormidel, čímž se komplikuje jejich konstrukce a zvyšují se náklady. Jejich účinnost se pohybuje maximálně kolem 48%. Nejčastěji se vyskytují vrtule ve dvou nebo třílistém provedení. Objevují se také různé jiné druhy, np. mnoholopátkové větrné kolo tzv. Amerického motoru, dále pak rotory větrných čerpadel.



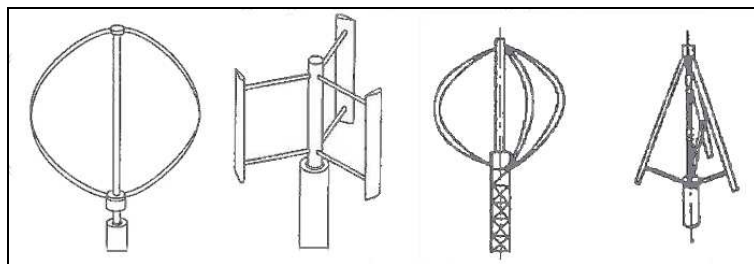
Obr. 3 Vztlakové rotory

a) obvyklé uspořádání větrných motorů (jedno, dvou a třílisté), b) rotor větrného čerpadla, c) rotor větrného mlýna, d) americký větrný motor [17].

s vertikální osou otáčení:

Svislé osy turbíny jsou nezávislé na směru větru, jsou neslyšitelné, je možné je instalovat v zastavěných oblastech. Jsou však méně efektivní, účinnost se pohybuje maximálně kolem 38%. Na vztlakovém principu pracují větrné motory francouzského inženýra Darrieusa. Rotory těchto

strojů jsou dvou, tří nebo čtyřlístého provedení a připomínají písmena  $\Phi$ , H anebo mají trojúhelníkový tvar. Vybrané typy jsou zobrazeny na Obr. 4.



Obr. 4 Různé typy Darrieusova rotoru.

Na Obr. 5 se nachází malá elektrárna s vertikální osou rotace, která pracuje na principu odporovém i vztakovém. Instalovaný výkon této jednotky je 300 kW. Na Obr. 6 jsou zobrazeny větrné elektrárny Pchery, o výkonu 2 x 3 MW, s horizontální osou rotace, pracující na vztakovém principu. Jedná se o největší větrné stroje v ČR.



Obr. 5 Větrná elektrárna tvořena Savoniovým a Darrieusovým rotorem [24].



Obr. 6 Větrné elektrárny Pchery [25].

## 2.3 Regulace větrných motorů

Vzhledem k proměnlivým rychlostem větru, musí být zajištěna ochrana motorů proti překročení maximálních otáček. Podle provedení rotoru jsou dvě základní skupiny regulace motorů:

- rotory s pevnými lopatkami nebo listy “stall” - Regulace se provádí vychýlením rotoru z roviny kolmé na směr větru. Při vyšších rychlostech větru se rotor vyklání stranou kolem svislé osy. Pro tuto regulaci se užívají dva způsoby, a to pomocí postranní desky umístěné vedle rotoru svoji plochou proti větru, nebo rotorem vyoseným vzhledem k čepu, který umožňuje jeho natáčení [1].

- rotory s natáčivými listy “pitch” – Zajišťují chod při málo proměnlivých otáčkách, v relativně velkém rozsahu rychlosti větru. Při překročení přípustné rychlosti větru dojde k natočení lopatek tak aby kladly větru minimální odpor. Další výhodou je snadnější rozběh. Nevýhodou je větší složitost turbín. Většina nových elektráren je touto regulací vybavena.

## 2.4 Rozdělení větrných elektráren

Podle vyráběného výkonu se VTE dělí na malé, střední a velké. Výkon lze odhadnout pomocí vztahu, podmiňujícího výkon odebraný proudícím vzduchu rotorem turbíny [3].

Tato závislost je vyjádřena pomocí rovnice:

$$P_s = \frac{1}{2} c_p S \rho u^3 \text{ (W; -, m}^2, \text{ m.s}^{-1} \text{ )} \quad (1)$$

kde značí:  $c_p$  - součinitel výkonu  
 $S$  - plocha opsaná vrtulí  
 $\rho$  - hustota vzduchu  
 $u$  - rychlost větru

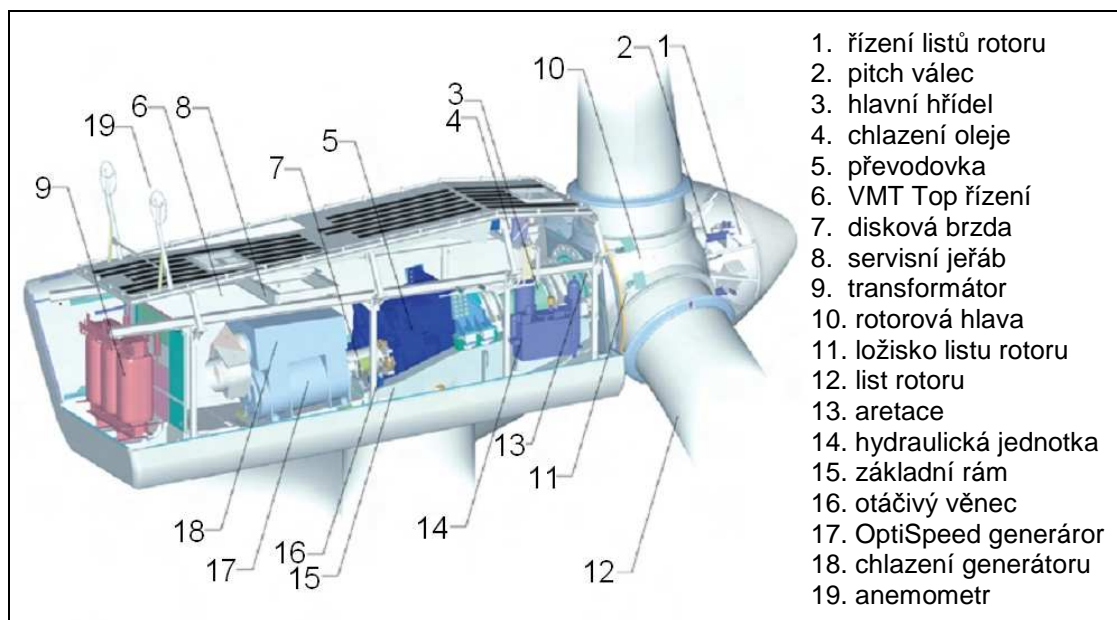
Malé VTE – do 10kW, průměr vrtule do 16m.

Střední VTE –  $P=60\div 750\text{kW}$ , průměr vrtule 16÷45m

Velké VTE –  $P=750\div 6400\text{kW}$  (nejčastěji  $P=1500\div 3000\text{kW}$ ), průměr vrtule nad 40m

## 2.5 Strojovna větrné elektrárny

Na Obr. 7 je zobrazena hlavní část strojovny a rotorové hlavy větrné elektrárny Vestas V90, jedná se o představitele velkých větrných elektráren s převodovkou.

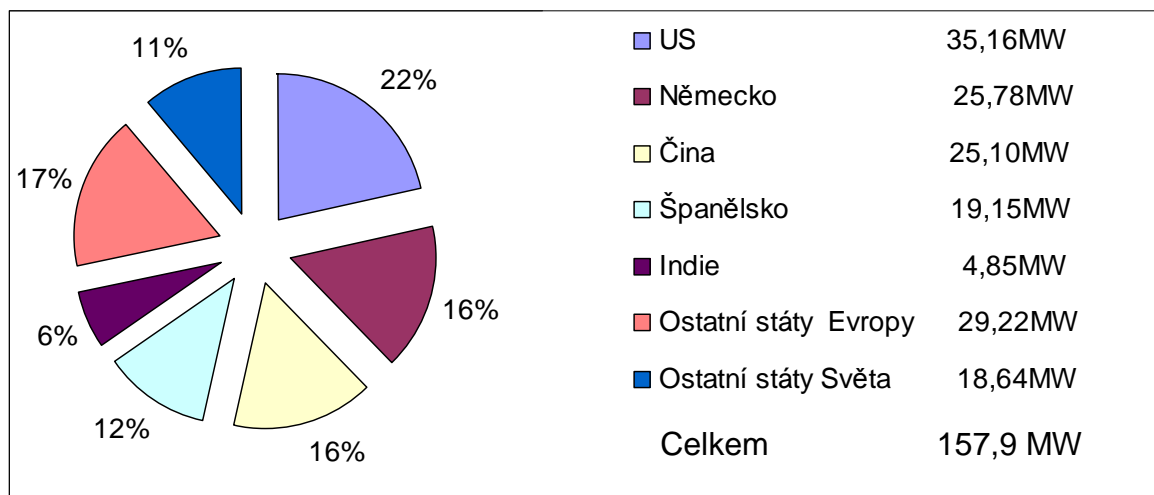


Obr. 7 Schéma větrné elektrárny Vestas V90 [3].



## 2.6 Větrná energetika celosvětově

Průkopníky větrných elektráren byly státy Dánsko, Německo a Španělsko. Od roku 2005 dochází k velkým investicím do VTE na celém světě. V roce 2009 dosáhl celosvětový instalovaný výkon větrných elektráren 157,899 MW [18].



Obr. 8 Celkový světový instalovaný výkon VTE 2009

## 2.7 Větrná energetika v České republice

Výroba energie z větru v ČR začala koncem 80. a začátkem 90. let minulého století. Největší rozmach zaznamenala větrná energetika v ČR v posledních letech.

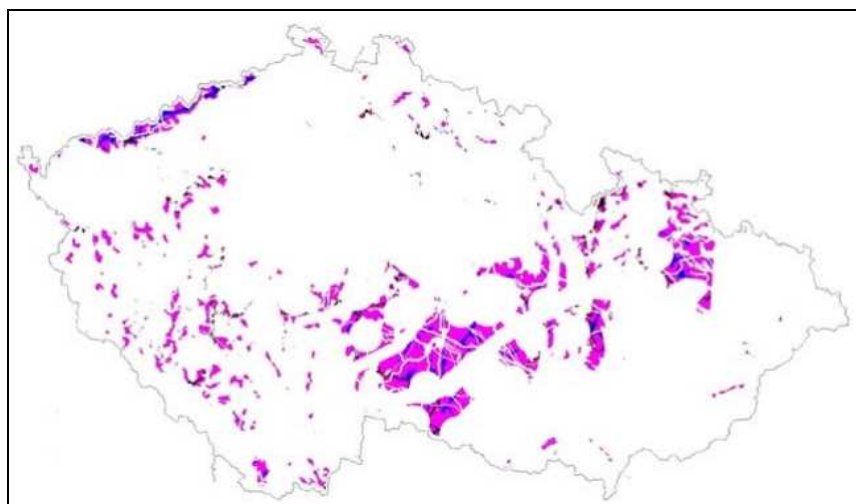
### 2.7.1 Lokality v ČR, vhodné k výstavbě VTE:

Pro určení vhodného území pro stavbu VTE se, podle vyhlášky 475/2005 Sb. kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, vybírají místa, kde roční průměrná rychlost větru, ve výšce osy rotoru 100 m, bude alespoň  $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Dobré povětrnostní podmínky však nejsou jediná kritéria pro stavbu VTE. Musíme eliminovat:

- Chráněné krajinné oblasti, národní parky,
- Vojenské prostory, velká letiště a rezervovány vzdušný prostor
- Silnice, dálnice, železnice a velké městské aglomerace
- Vodní toky
- Historické a krajinné dominanty s ochranným pásmem o poloměru 10km

Po eliminaci těchto prvků vznikne výsledná mapa, zobrazena na Obr. 9. Z výsledné mapy je patrné, že v rámci ČR není mnoho území, vhodných ke stavbě větrných elektráren.



Obr. 9 Výsledná mapa lokalit vhodných pro výstavbu VTE[5]

### 2.7.2 Současný stav VTE v ČR

V roce 2009 dosáhl instalovaný výkon VTE v ČR 192MW. V Tab. 1 je uveden počet instalací větrných elektráren a celkový instalovaný výkon těchto větrných elektráren v jednotlivých krajích. Z tabulky je patrné, že nejvíce se větrné elektrárny rozšířily v Ústeckém a Olomoucké kraji. Roční výroba z těchto dvou krajů znamenala dvě třetiny výroby v ČR.

Tab. 1 Instalovaný výkon větrných elektráren v jednotlivých krajích, 31.12.2009

Kraj	Počet VTE	Instalovaný výkon [MW]	výroba [MWh]
Středočeský	2	6	6 503,1
Jihočeský	0	0	0
Plzeňský	0	0	0
Karlovarský	16	17,49	8 376
Ústecký	44	82,8	176 643
Liberecký	8	4,3	4 540
Královéhradecký	0	0	0
Pardubický	18	19,2	9 962,9
Vysočina	7	11,7	16 275
Jihomoravský	6	8,25	9 243
Olomoucký	32	37,2	49 145
Zlínský	1	0,225	521,5
Moravskoslezský	2	4	8 815,4
Celkem	106	192	289 888



## 2.8 Problémy vyplývající z provozu VTE

- Náhlé odstavení velkého výkonu VTE

Starší typy větrných elektráren jsou konstruovány tak, že se při velké rychlosti větru od sítě samy odstaví. Pro stroje s vodorovnou osou otáčení bývá limitní rychlost  $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , pro stroje se svislou osou otáčení  $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Energetický systém musí zvládnout výpadek svého největšího bloku. Teoreticky by momentální instalovaný výkon VTE, mnohem menší než blok Temelína, neměl přinášet další problémy. Problém je ovšem v tom, že elektrárny jsou většinou připojeny na konci vedení, proto změna výkonu, řádově pár MW, může způsobit nežádoucí pokles napětí.

- Náhlé změny rychlosti větru

Ví se, že okamžitý výkon je úměrný třetí mocnině rychlosti větru. Takže, změní-li se rychlost větru, np. z  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  na  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , tak se taky změní výkon. Teoreticky z 100 kW na 800 kW. V praxi může být nárůst ještě větší. Proti tomu jevu však funguje setrvačnost větrného motoru.

- Nespojitosť výroby VTE

Distributor, který je ze zákona povinen vykupovat veškerou energii vyrobenou z OZ, musí řešit tento problém, vysoké dynamiky změn toku výkonu. Jelikož výkon stále kolísá, soustava se špatně reguluje a je nutnost neustále držet v pohotovosti záložní zdroje.

- Změny frekvence

Při nadbytku činného výkonu je regulace jednoduchá, protože většina nových VTE je vybavená Pitch regulací, která natočením lopatek sníží dodávaný činný výkon. Mnohem horší je situace při nedostatku činného výkonu, na pokles frekvence není VTE schopná reagovat. Vyrovnání frekvence musí zajistit primární, sekundární regulace jiných zdrojů.

- Systémové rezervy a dispečerské řízení

Při provozu větrných elektráren se musí počítat s problémy, které svým provozem způsobují. Jedná se o:

velké náhle a krátkodobé změny dodávaného výkonu – vyšší nároky na primární regulaci

neschopnost pomoci při vyrovnávání frekvence – vyšší nároky na primární regulaci, zvýšení počtu strojů v sekundární regulaci

náhlé odstavení velkého výkonu VTE – problémy způsobené výpadkem velkého množství VTE jsou srovnatelné s výpadkem velkého bloku, zvýšení nároků na sekundární a terciární regulaci  
bezvětrné období – nutnost plné zálohy VTE

VTE se nemohou účastnit systémových a podpůrných služeb a musí být zajištěna rezerva na jejich výkon, který VTE dosud dodaly. Proto tyto elektrárny na instalovaných výkonech ostatních zdrojů v soustavě neušetří vůbec nic [27]. Což způsobuje zvýšení nákladů na systémové rezervy. Zálohy jsou nejčastěji tvořeny uhelnými, vodními a plynovými zdroji.

- Najíždění velkých farem VTE

Najíždění farem je nutno rozložit, na dobu několika jednotek až desítek minut, podle velikosti farmy. V ČR se vyžaduje rozložení startu i u menších farem připojených do sítě 110kV nebo vn.

## 2.9 Zkušenosti z provozu větrného parku Kryštofovy Hamry

Jedná se větrnou farmu s moderními stroji umístěnou, dle UFA, ve výborných větrných podmínkách. V Tab. 1 jsou zobrazeny její roční výkonové poměry.

Tab. 2 Roční výkonové poměry větrného parku Kryštofovy Hamry

Maximální dodaný instalovaný výkon		Minimální dodaný instalovaný výkon	
Čas chodu (%)	$P_i$ (%)	Čas chodu (%)	Dodaný $P_i$ (%)
4,4	0	17,9	50
58,9	20	7,6	80
82,1	50	4,4	90

- Ovlivňování napětí a změny účinníku

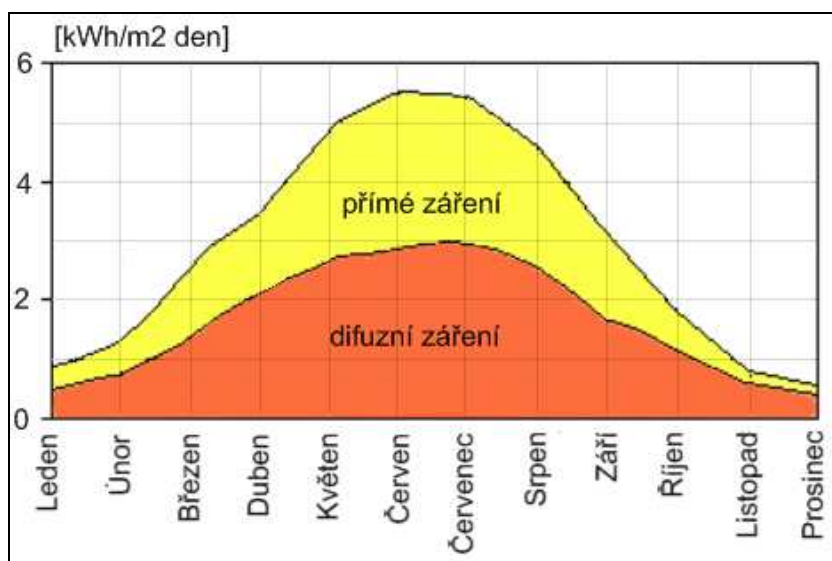
Ovlivňování napětí větrným parkem Kryštofovy Hamry je mnohem nižší než maximální povolené. Situace s účinníkem je komplikovanější. Při malých výkonech asi do 2MW kmitá v celém rozsahu. Do povolených mezí se účinník pohybuje při 8 – 20 MW. Při překročení 20MW účinník klesá pod povolenou mez. To však problém není, protože tím omezuje zvýšení napětí v předacím místě [6].

### 3 Teoretický rozbor fotovoltaické energetiky

Pojem fotovoltaika označuje přeměnu světla na elektrickou energii. Fotovoltaický jev objevil v roce 1839 Francouz Alexandr Edmond Becquerel. První fotovoltaický článek byl vyroben v roce 1954. Vyroben byl z krystalického křemíku s účinností šest procent.

#### 3.1 Sluneční záření

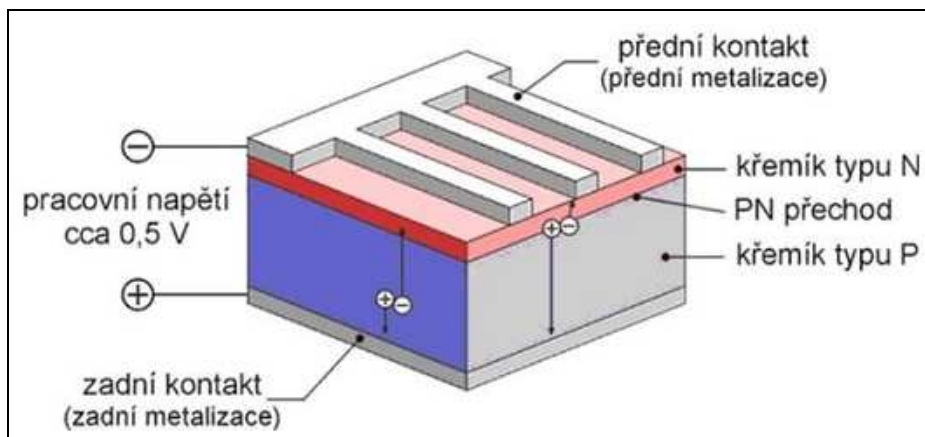
Sluneční záření je základní zdroj energie na Zemi. Denně dodává stotisíckrát více energie, než je celková světová spotřeba. Sluneční záření lze rozdělit na přímé a difuzní. Část sluneční energie se rozptýlí, část je absorbována, takže lze naměřit na Sahaře cca 80 % původní hodnoty, ve středních zeměpisných šířkách 35-40 %, část, cca 30 %, se odráží do mraků, prachových částic a zemského povrchu, asi 70 % se absorbuje [7].



Obr. 10 Přímé a difuzní záření v podmínkách ČR [8].

#### 3.2 Princip činnosti fotovoltaiky

Fotovoltaika využívá přímé přeměny světelné energie na elektrickou energii v polovodičovém prvku označovaném jako fotovoltaický nebo také solární článek[9]. Fotovoltaický článek se skládá z velkoplošné diody, s alespoň jedním PN přechodem. Dopadá-li na solární článek sluneční záření, generují se v něm elektricky nabitě částice. V polovodiči se z krystalové mřížky začnou uvolňovat záporné elektrony. Tím se vytvoří rozdílný potenciál a vznikne elektrické napětí, které u křemíkových diod dosahuje hodnoty zhruba 0,5 V. Připojíme-li mezi oba kontakty spotřebič elektrické energie, obvodem začne protékat elektrický proud, který bude závislý na velikosti článku a intenzitě slunečního záření.



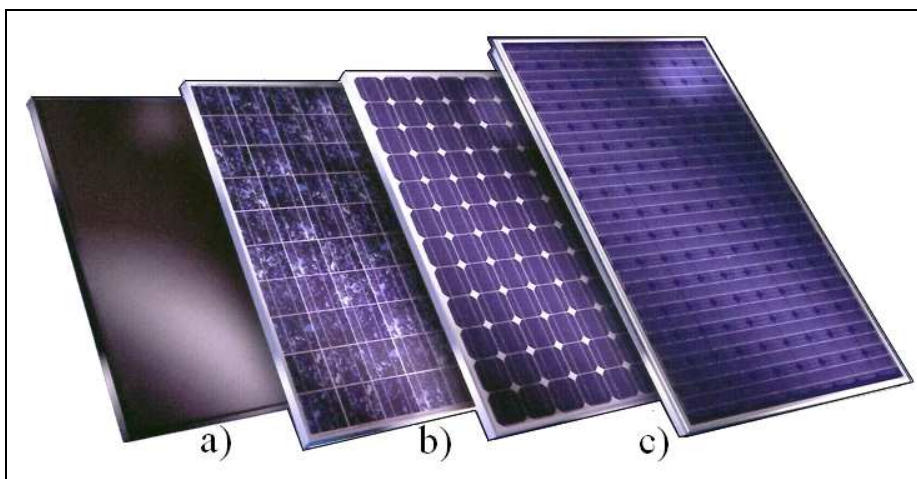
Obr. 11 Schematické znázornění funkce solárního článku [9].

### 3.3 Rozdělení fotovoltaických článků

Nejčastěji se používají křemíkové solární články, které se dělí na:

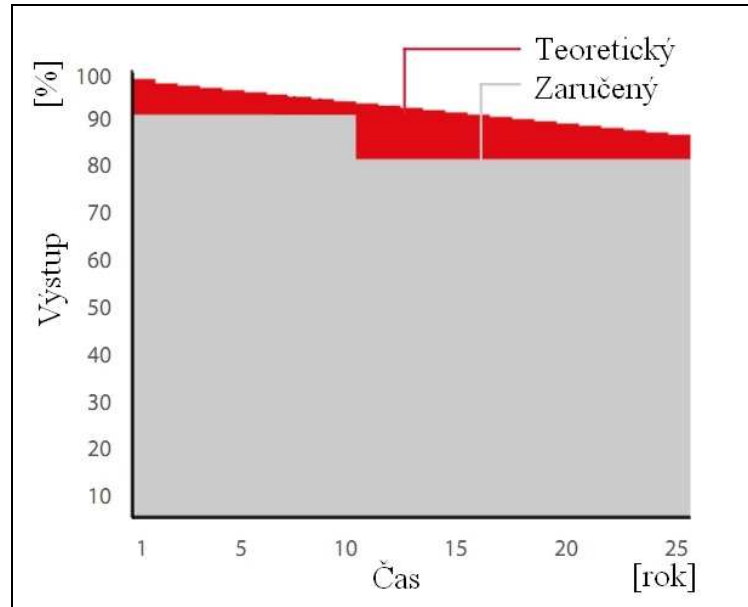
- Amorfni – malá konverzní účinnost 8%, ale lepší využití rozptýleného záření - panel je schopny vyrobit zhruba o 10% více energie než panely krystalické (a)
- Polykrystalické – pouze částečná stejnosměrná struktura krystalů, účinnost 12 – 15% (b)
- monokrystalické – stejnosměrná struktura krystalů po celé ploše, jsou účinné z 15 - 18% (c)
- Hybridní – kombinuje krystalický a amorfni články

Jednotlivé druhy fotovoltaických článků jsou zobrazeny na Obr. 12.



Obr. 12 Druhy fotovoltaických článků a) amorfni b) polykrystalický c) monokrystalický [26].

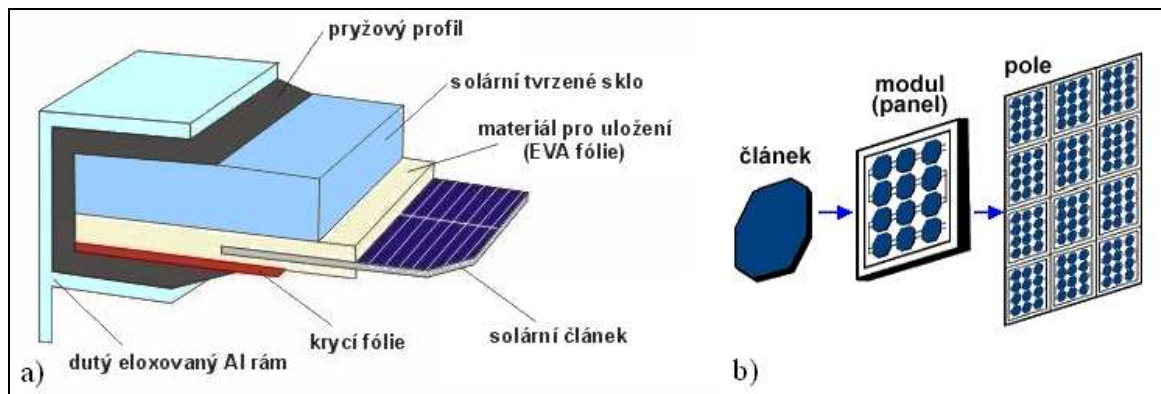
V současné době převládají panely krystalické. Většinou je poskytována záruka 25 let, že výkon neklesne pod 80% [20]. Na Obr. 13 je zobrazen pokles účinnosti fotovoltaického panelu, v závislosti na čase, prezentovaný firmou Suntech.



Obr. 13 Pokles účinnosti v závislosti na čase [20].

### 3.4 FV panely

Napětí jednoho článku je přibližně 0,5 V. Jelikož má fotovoltaický článek příliš malý výkon, vytvářejí se fotovoltaické panely. Panely jsou navíc chráněny proti mechanickému poškození, povětrnostním vlivům (silný vítr, krupobití, mráz) a snadněji se instalují. Panely se vyrábějí od několika jednotek do 200 kW. Pro větší výkony se panely skládají do fotovoltaických polí. Panely lze zapojovat sériově i paralelně v závislosti na požadovaném napětí, proudu.

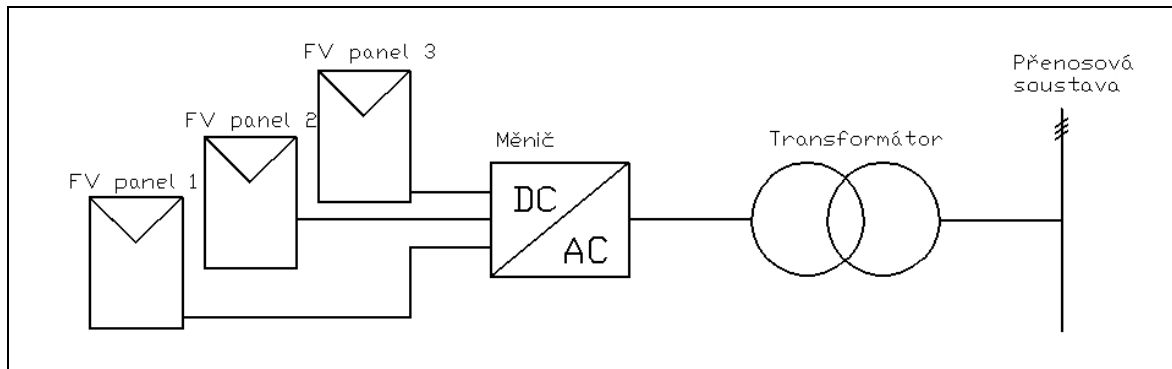


Obr. 14 a) Stavba FV panelu, b) Stavba FV pole [23].

### 3.5 FV elektrárny

FV elektrárnami můžeme nazvat spojení FV panelu, měniče (střídače) a jistící jednotky. Střídač – zajišťuje přeměnu stejnosměrné hodnoty výstupního napětí z FV pole na hodnotou střídavou o požadované hodnotě napětí. V případě malých elektráren plní rovněž funkci ochrannou (v případě nedodržení požadovaných hodnot napětí a frekvence dojde k odpojení). Maximální

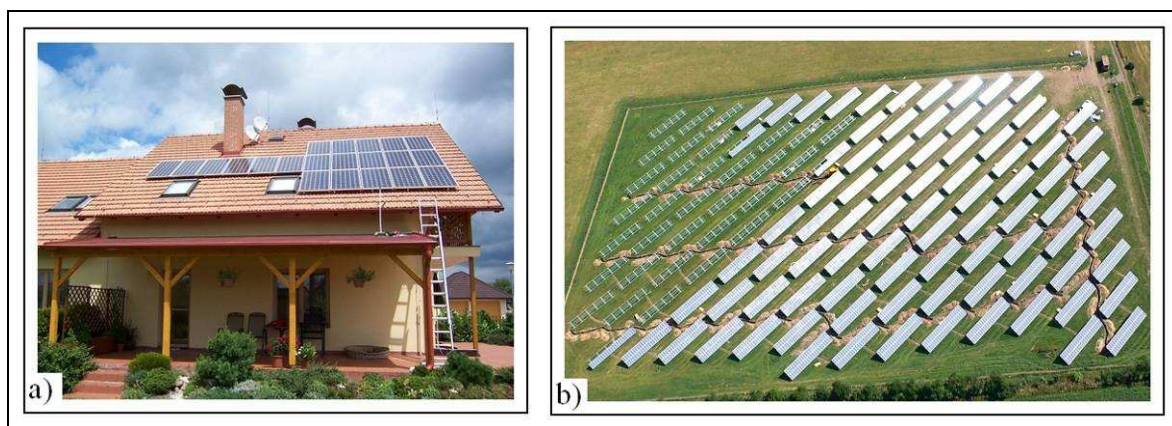
účinnost moderních střídačů se pohybuje do 96%. Dynamické chování fotovoltaických zdrojů je především závislé na vlastnostech a parametrech střídačů, které jsou v konkrétní aplikaci jednotlivých fotovoltaických výroben použity [10]. Na Obr. 15 je zobrazeno možné připojení fotovoltaické elektrárny k přenosové soustavě.



Obr. 15 Blokové schéma možného připojení FVE k přenosové soustavě

Rozdělení FV elektráren:

- malé střešní instalace – Výkon pár kWp. Na Obr. 16 a) je instalace o výkonu 3,75 kWp.
- velké střešní instalace – Od výkonů přesahujících 10 kWp až do jednotek MWp.
- volně stojící instalace – Výkony v řádech stovek kWp až do jednotek MWp. Na Obr. 16 b) je zobrazena 1. etapa FVE v Českých Velenicích, o instalovaném výkonu 1,1 MWp.

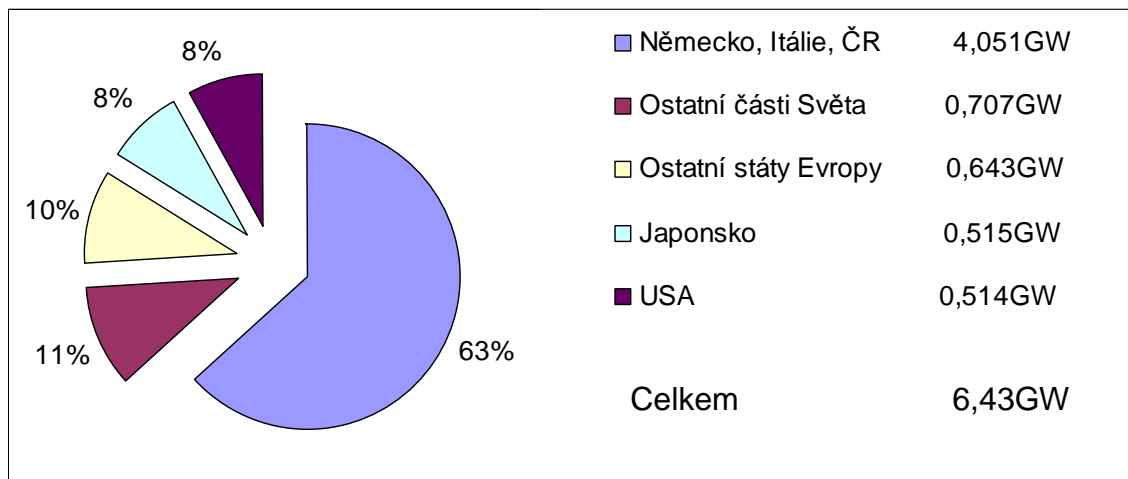


Obr. 16 FVE a) Malá střešní instalace b) Volně stojící instalace [22].

### 3.6 FV ve světě

Instalovaný výkon FVS v roce 2009 dosáhl výše 6,43GW což představuje zhruba 6% růst oproti roku 2008. Z celkové produkce se Evropa podílela 4,75GW což je 74%. Nejvýznamněji se na navýšení podílely Německo, Itálie a Česká republika, kteří dohromady představují 4,07 GW [21].



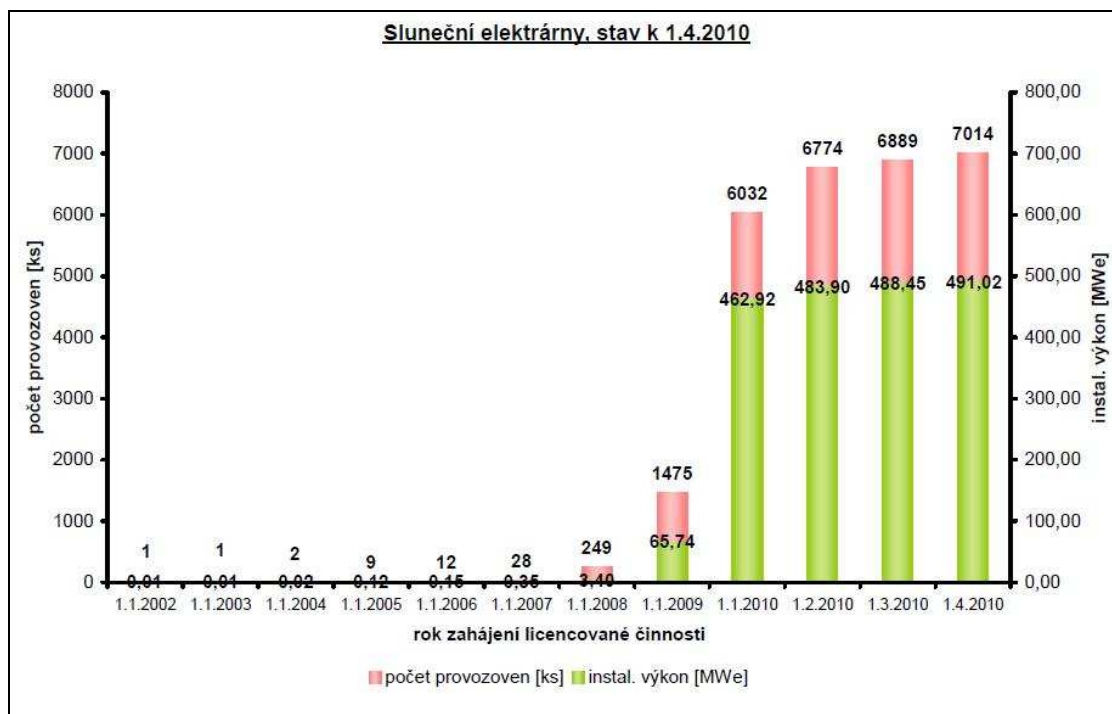


Obr. 17 Rozložení světového instalovaného výkonu FVE

### 3.7 Fotovoltaická energetika v ČR

#### 3.7.1 Současný stav FVE v ČR

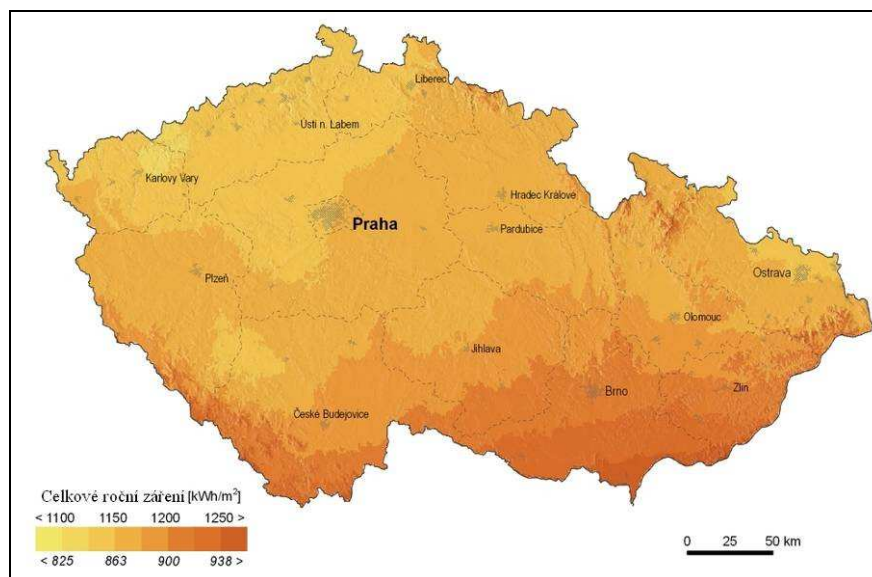
V současné době je instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v ČR 491,02 MW. Oproti roku 2008 se tedy jedná o zhruba sedmi násobné navýšení. V roce 2009 se vyrobilo 88,8 GWh elektrické energie [11]. To je oproti roku 2008 kdy se solární energie vyrobilo jen 12,9 GWh značný nárůst. V letošním roce dojde pravděpodobně k dalšímu navýšení z důvodu produkce výroben, které se k síti připojily až koncem loňského roku. Na Obr. 18 je zobrazen vývoj počtu fotovoltaických provozoven a jejich instalovaný výkon během posledních 8 let.



Obr. 18 Fotovoltaické elektrárny v ČR, stav k 1.4.2010 [11].

### 3.7.2 Lokality v ČR, vhodné k další výstavbě

Pro stanovení teoretického potenciálu FV elektráren, je jediným omezením dostatek vhodné plochy pro instalaci solárních panelů. Solární panely mohou být součástí všech střech a fasád různých typů budov. Na Obr. 19 je zobrazeno roční sluneční záření v ČR, z něho je jasné patrné, že nejlepší lokality pro výstavbu fotovoltaických elektráren se nachází na jižní Moravě. Nicméně investice do fotovoltaických výroben se vyplatí v rámci celé ČR. Z důvodu momentální cenové politiky, kdy je výkupní cena elektrické energie z fotovoltaických výroben připojených v roce 2010 stanovena na 12,25 Kč/kWh (Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2009 [11]). Další výhodou je, že provozovatel je povinen (ze zákona č. 180/05 Sb.) veškerou elektrickou energii vyrobenou z OZ vykoupit.



Obr. 19 Sluneční záření a elektrický potenciál v ČR [12].

Problém s připojováním nových OZ k sítí je ovšem v tom, že se, podle ČEPS, elektrizační soustava České republiky nachází již za hranicí bezpečné hodnoty instalovaného výkonu. Po sečtení realizovaných projektů větrných a fotovoltaických elektráren je do sítě připojeno více než 600 MW, navíc kladná stanoviska k žádostem o připojení dosahují dalších 3500 MW výkonu (stav k 31. 12. 2009). Oblasti s volnou kapacitou pro připojení nových zdrojů se momentálně nacházejí pouze v Libereckém kraji a v kraji Vysočina [13].



## 4 Definice a limity parametrů napětí

Tato kapitola se zabývá dvěma základními ukazateli kvality elektrické energie. Jsou to: norma ČSN EN 50160 a vybrané části pravidel pro provozování distribučních sítí – přílohy 4. Zmiňuje se taky o normě ČSN EN 61400-12-1.

- ČSN EN 50160 - Charakteristiky elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě

Je to norma, která uvádí hlavní charakteristiky napětí v místech připojení odběratelů z veřejných distribučních sítí nízkého a vysokého napětí, za normálních provozních podmínek. Udává meze nebo hodnoty charakteristických hodnot napětí, jaké může za normálních provozních podmínek očekávat kterýkoliv odběratel. Nevztahuje se na mimořádné provozní podmínky. Předmětem této normy je definování a popis charakteristik napájecího napětí týkající se: kmitočtu, velikosti, tvaru vlny, symetrie třífázových napětí [14].

- PPDS - Pravidla pro provozování distribučních sítí

PPDS jsou obecně závaznou normou, vymezující zásady a postupy, kterými se řídí vztahy mezi provozovatelem DS a všemi uživateli DS. Parametry napětí udávané v PPDS vychází z normy ČSN EN 50160, ale některé, v zájmu zachování stability sítě, se zpříšňují [15].

- ČSN EN 61400-12-1 Větrné elektrárny - měření výkonu větrných elektráren

Tato norma zaručuje jednotnost, přesnost, opakovatelnost při měření, analýze a je návodem pro vypracování zprávy o zkouškách výkonových charakteristik VTE [19].

### 4.1 Kmitočet napájecího napětí

Kmitočet napájecího napětí je, podle normy ČSN EN 50160 [14], kmitočet opakování základní vlny napájecího napětí, měřený po dobu daného časového intervalu. Pro  $nn$  i  $vn$  se určuje střední hodnota základní harmonické měřená každých 10 s. Limitní hodnoty kmitočtu jsou zobrazeny v Tab. 3 [14].

Tab. 3 Limitní hodnoty kmitočtu

Časové období	Povolená změna f	
pro 95% roku	$\pm 1\%$	(49,5% - 50,5 Hz)
pro 100% času	-6% / +4%	(47 - 52 Hz)

### 4.2 Kolísání napětí

Kolísání napětí, je podle ČSN EN 50160 [14], řada změn napětí nebo cyklická změna obálky napětí. Pro  $nn$  i  $vn$  platí limitní hodnoty  $\pm 10\%$ , pro 95% týdne, střední deseti minutové efektivní hodnoty. V PPDS je tolerance kolísání napětí zpřísněna, limitní hodnoty jsou patrné z následujících vztahů.

Pro výroby v síti nn:

$$\Delta u_{\max nn} \leq 3\% \quad (2)$$

Pro výroby v síti vn

$$\Delta u_{\max vn} \leq 2\% \quad (3)$$

Pro výroby v síti 110kV

Spínání jedné výrobní jednotky - normální provoz

$$\Delta u_{\max} \leq 0,5\% \quad (4)$$

- poruchový provoz

$$\Delta u_{\max vn} \leq 2\% \quad (5)$$

Spínání celého zařízení - normální provoz

$$\Delta u_{\max} \leq 2\% \quad (6)$$

### 4.3 Rychlá změna napětí

Rychlá změna napětí je, podle ČSN EN 50160 [14], jednotlivá rychlá změna efektivní hodnoty napětí mezi dvěma nebo více po sobě následujícími úrovněmi napětí, které trvají určitou, avšak nestanovenou dobu.

flikr : Vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase.

míra vjemu flikru: Intenzita nepříjemnosti flikru definovaná měřicí metodou flikru UIE-IEC a vyhodnocená následujícími veličinami:

- krátkodobá míra vjemu ( $P_{st}$ ) je měřena po dobu deseti minut;
- dlouhodobá míra vjemu ( $P_{lt}$ ) je vypočítána z posloupnosti dvanácti hodnot  $P_{st}$  po dobu dvouhodinového intervalu

Pro nn je obecně povolena tolerance 5%, výjimečně 10%.

$$P_{lt} < 1 \text{ pro } 95\% \text{ týdne} \quad (7)$$

Pro vn je obecně povolena tolerance 4%, výjimečně 6%.

$$P_{lt} < 1 \text{ pro 95\% týdne} \quad (8)$$

Se zřetelem na kolísání napětí je nutno, podle PPDS, dodržet ve společném napájecím bodě nn a vn mezní hodnotu.

$$P_{lt} \leq 0,46 \quad (9)$$

Ve společném napájecím bodě 110 kV je nutné dodržet mezní hodnotu.

$$P_{lt} \leq 0,37 \quad (10)$$

#### 4.4 Krátkodobý pokles napájecího napětí

Krátkodobý pokles napájecího napětí je, podle normy ČSN EN 50160 [14], náhlý pokles napájecího napětí na hodnotu mezi 90 % a 1 % dohodnutého napětí ( $U_c$ ), po kterém následuje obnovení napětí během krátkého časového intervalu; konvenční doba trvání krátkodobého poklesu napětí je mezi 10 ms a 1 minutou. Hloubka krátkodobého poklesu napětí je definována jako rozdíl mezi minimální efektivní hodnotou napětí, v průběhu krátkodobého poklesu a dohodnutým napětím. Změny napětí, které nesnižují napájecí napětí na méně než 90% dohodnutého napětí  $U_c$ , se nepovažují za krátkodobé poklesy napětí. Většina poklesů napájecího napětí, nesmí mít délku trvání větší než 1 s, a hloubku větší než 60%. Lokálně ohraničené poklesy způsobené spínáním zátěže se mohou pohybovat v rozmezí 10 - 50% pro nn, 10-15% pro vn.

#### 4.5 Přerušení napájecího napětí

Za přerušení napájecího napětí se, podle normy ČSN EN 50160 [14], považuje stav, při kterém je napětí v předávacím místě menší než 1% dohodnutého napětí  $U_c$ . Přerušení napájecího napětí mohou být tříděna na:

- Předem dohodnutá, při kterých jsou odběratelé elektrické energie předem informováni, umožňující provádění plánovaných prací na distribuční síti.
- Poruchová, způsobená trvalými nebo přechodnými poruchami většinou spojenými s vnějšími vlivy, poruchami zařízení nebo rušením;

Poruchová přerušení se třídí na:

- Krátkodobé přerušení napájecího napětí způsobená přechodnou poruchou. Jedná se o přerušení jejichž délka je do 3 minut. Povoleno počet přerušení je několik desítek až několik stovek ročně s délkou trvání 70% z nich < 1 s. Platí pro síť nn i vn.
- Dlouhodobé přerušení napájecího napětí způsobená trvalou poruchou. Jedná se o přerušení trvající déle než 3 minuty. Nesmí jich být více než 10 - 50 ročně. Platí pro síť nn i vn.

#### 4.6 Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu

Podle normy ČSN EN 50160 [14] se jedná, o přepětí v daném místě, které má relativně dlouhou dobu trvání. V sítí nn musí být efektivní hodnota přepětí  $< 1,5$  kV. V sítí vn je limitní hodnota dočasného přepětí  $1,7 U_c$  pro účinně uzemněné nebo zemněné přes impedanci. Pro izolované nebo rezonančně uzemněné, nesmí dočasná hodnota přepětí přesáhnout dvojnásobek  $U_c$ .

#### 4.7 Přechodná přepětí

Jedná se o krátkodobé oscilační nebo neoscilační přepětí obvykle silně tlumené a s dobou trvání několik milisekund nebo méně.

Pro nízké napětí musí být přechodná přepětí obecně menší než 6 kV, příležitostně vyšší. Doba náběhu se musí pohybovat v řádech ms -  $\mu$ s. Pro vn nejsou přechodná přepětí definována.

#### 4.8 Nesymetrie napájecího napětí

Je to stav trojfázové sítě, při kterém efektivní hodnoty fázových napětí nebo rozdíly fázových úhlů mezi po sobě jdoucími fázemi nejsou stejné

Pro nízké i vysoké napětí je tolerována nesymetrie napájecího napětí 2% pro 95% týdne, střední deseti minutové efektivní hodnoty, v některých lokalitách až 3% .

#### 4.9 Harmonické napětí

Norma ČSN EN 50160 [14] definuje harmonické napětí jako sinusové napětí s kmitočtem rovným celistvému násobku základního kmitočtu napájecího napětí.

Harmonická napětí lze hodnotit:

- jednotlivě jejich relativní amplitudou ( $U_n$ ) vztaženou k napětí základní harmonické  $U_1$ ,
- souhrnně, například pomocí činitele celkového harmonického zkreslení THD, který se počítá pomocí následujícího vztahu:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2} \quad (\%; V) \quad (11)$$

kde značí:  $U_h$  – napětí h řádu harmonické

Celkový činitel zkreslení THD, napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické až do řádu 40) musí být menší nebo roven 8%.

Úrovně jednotlivých harmonických napětí, v předávacím místě, v procentech  $U_n$ , pro řady harmonických až do 15 jsou zobrazeny v Tab. 4. Ty platí pro nn i vn, pro 95% týdne střední deseti minutové efektivní hodnoty.

V PPDS [15] se celkově přípustné harmonické proudy, vztáhnou na zkratový výkon, který je vyvolány zařízením přímo připojeným do této sítě. Harmonické proudy emitované těmito zařízeními musí udat výrobce, např. zprávou o typové zkoušce.

Tab. 4 Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě

liché harmonické				sudé harmonické	
ne násobky 3		násobky 3			
řád harmonické h	harmonické napětí %	řád harmonické h	harmonické napětí %	řád harmonické h	harmonické napětí %
5	6	3	5*¹	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				
*¹ V závislosti na druhu sítě mohou být hodnoty třetí harmonické podstatně nižší					

#### 4.10 Meziharmonické napětí

Norma ČSN EN 50160 [14] definuje mezi harmonické napětí jako sinusové napětí s kmitočtem ležícím mezi harmonickými, tzn. kmitočet není celistvým násobkem základního kmitočtu síťového napětí. Pro nn ani vn se neuvažuje.

#### 4.11 Ovlivnění zařízení HDO

Přípustné zvýšení zatížení vysílače do 110 kV a vn je 5% jmenovitého proudu. Výrobní připojované k síti mimo přípojnic, do níž se vysílá signál HDO, smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5% za předpokladu, že bude dodržena minimální přípustná úroveň signálu HDO určená měřeními. Tato úroveň musí být zaručena i při mimořádných zapojeních sítí. Při posuzování poklesů hladiny signálu HDO výrobny je zapotřebí uvažovat následující hlediska:

- Výrobnou vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence odpovídá místně použité frekvenci HDO nebo leží v bezprostřední blízkosti, nesmí překročit 0,1%  $U_n$ .
- Napětí produkovaná výrobou, jejichž frekvence je do 100 Hz pod nebo nad místně použitou frekvencí HDO, nesmějí v přípojném bodu překročit 0,3%  $U_n$ .

Bez posouzení je možné připojit k síti výrobní, nepřesáhne-li jejich výkon v přípojném bodu a výkon v celé síťové oblasti hodnoty uvedené v Tab. 5.

Tab. 5 Přípustné hodnoty HDO

Napěťová úroveň [kV]	Celkový výkon výrobních zařízení	
	V přípojném bodu	V síťové oblasti
0,4	10 kVA	20 kVA
VN	2MVA	4MVA
110	20 MVA	40 MVA

## 5 Rozbor kvality napětí z větrné elektrárny

### 5.1 Popis elektrárny

Předmětem analýzy jsou vybrané zpětné vlivy větrné elektrárny typu VESTAS V90 - 2,0 MW, celkový výkon 4 MW. Jedná se o elektrárny s asynchronním generátorem s kroužkovou kotvou v kaskádním zapojení. Elektrárny jsou připojeny frekvenčním měničem napětíového typu. Elektrárny jsou v provozu od roku 2007. Vybrané technické parametry jsou uvedeny v Tab. 6.



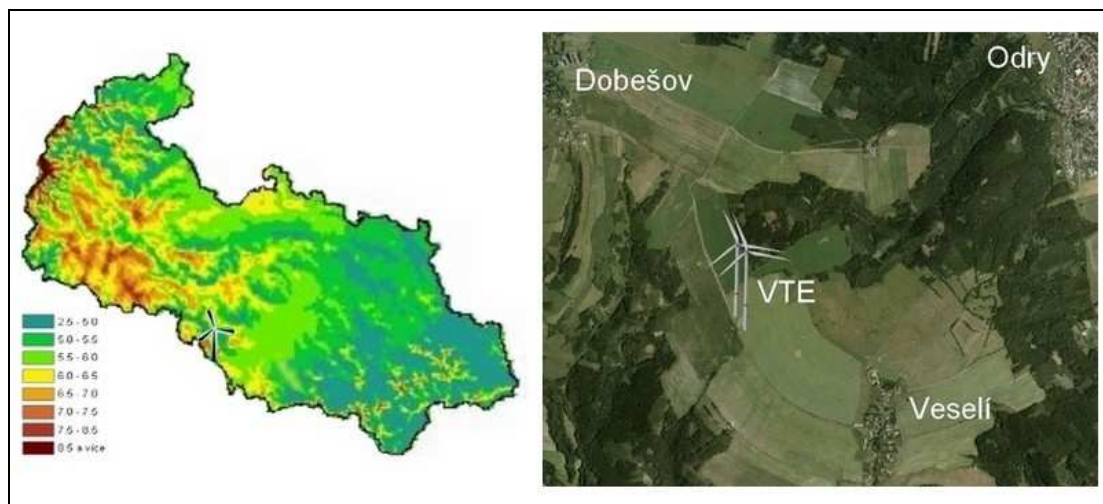
Obr. 20 VTE V90, Veselí u Oder

Tab. 6 Technické parametry VTE Veselí u Oder

Parametr	Hodnota
Název elektrárny	Vestas V90 – 2MW
Nadmořská výška	539 m n. m.
Výška stožáru	80 m
Průměr rotoru	90 m
Počet otáček	8 – 17 ot/min
Záběrová plocha	6362 m <sup>2</sup>
Rychlost větru pro spuštění elektrárny	4 m/s
Rychlost větru pro vypnutí elektrárny	25 m/s
Rychlost větru pro nominální výkon	13 m/s
Regulace účinníku	0,98 kapacitní / 0,95 indukční
Regulace výkonu	Pitch
Napětí generátoru 690V	690 V
Vyvedení do sítě 22kV	22 kV
Generátor	3f asynchronní s kroužkovou kotvou, 4 pólový
Provozní teplota	-20°C až 40°C
Uvedení do provozu	1/2007
Životnost	20 let

## 5.2 Lokalita VTE Veselí u Oder

Z Obr. 21 je patrné, že se VTE Veselí u Oder nachází v lokalitě Oderské vrchy mezi obcemi Veselí a Dobešov, asi 3 km od Oder. Na Obr. 21 je také zobrazen výřez moravskoslezského kraje z větrné mapy publikované UFA. Z této větrné mapy je patrné, že se jedná o lokalitu s výbornými povětrnostními podmínkami ( $7 - 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). O vhodnosti této lokality ke stavbě VTE svědčí i skutečnost, že se momentálně jedná o přidání dalších čtrnácti větrných elektráren.



Obr. 21 Lokalita VTE Veselí u Oder

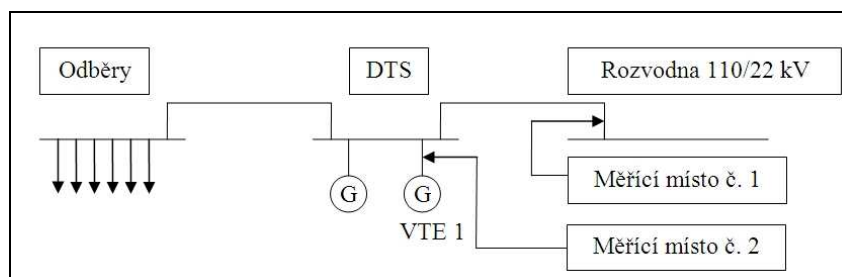
## 5.3 Vlastní měření

Pro měření byly použity následující přístroje:

- BK-ELCOM ENA 500 Přístroj pro monitoring a analýzu elektřiny, v souladu s platnými normami. Umožňuje monitoring na několika 3-fázových soustavách jedním přístrojem.
- MDS-U Měří, předzpracovává a zaznamenává hodnoty napětí, proudů a účinníků v sítích nn, vn i vvn. Dále je vhodný k měření HDO.

Měření bylo zaměřeno na změny napětí a flickr, protože z hlediska kvality napětí VTE se jedná o nejproblematictější parametry. Dále se změřily hodnoty nutné pro sestrojení výkonové křivky.

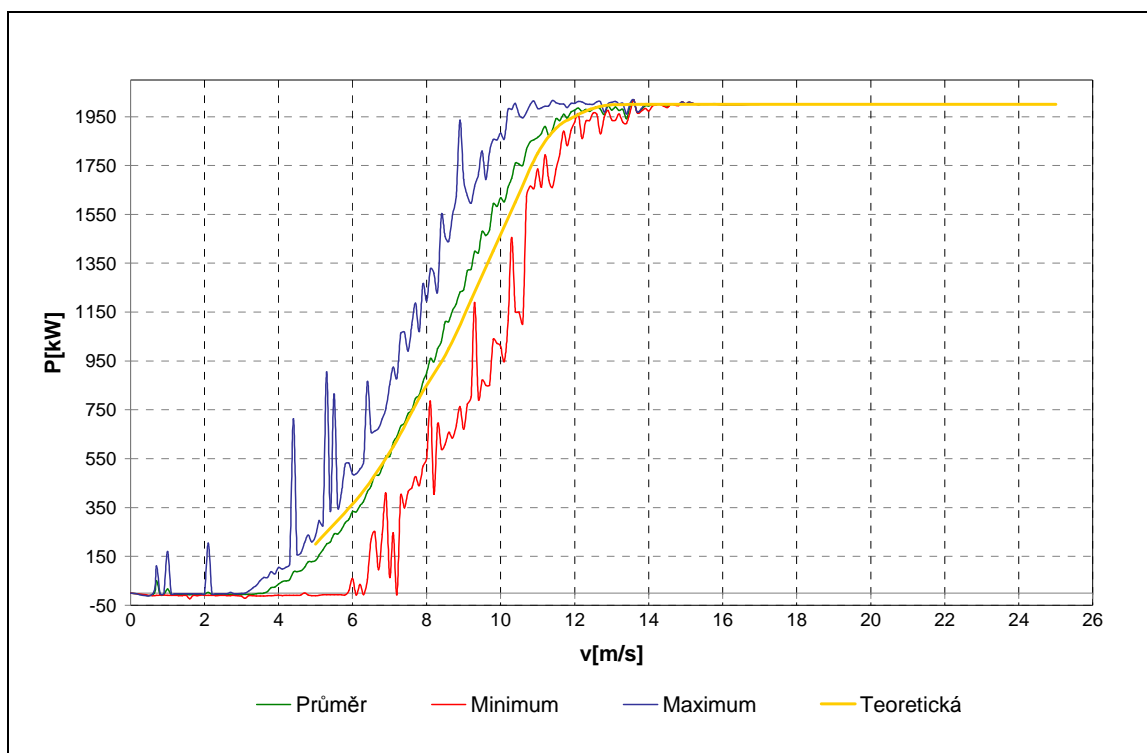
Na Obr. 22 je zobrazeno zjednodušené schéma připojení měřené soustavy.



Obr. 22 Zjednodušené schéma připojení VTE k paprsku

### 5.3.1 Výkonová křivka

Na Obr. 23 jsou zobrazeny výkonové křivky. Žlutá křivka je teoretická, udávaná výrobcem VTE firmou VESTAS, přepracovaná do grafu. K ní pro přehlednost byly do jednoho grafu přidány skutečné, změřené výkonové křivky. Modrá křivka zobrazuje maximální změřené hodnoty. Červená křivka zobrazuje minimální změřené hodnoty a zelená křivka představuje průměrnou hodnotu. Je patrné, že výkonová křivka teoretická, udaná výrobcem, je srovnatelná se změřenou průměrnou výkonovou křivkou. Z grafu je taky zřejmé, že jmenovitého výkonu dosáhne elektrárna při rychlostech větru  $13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

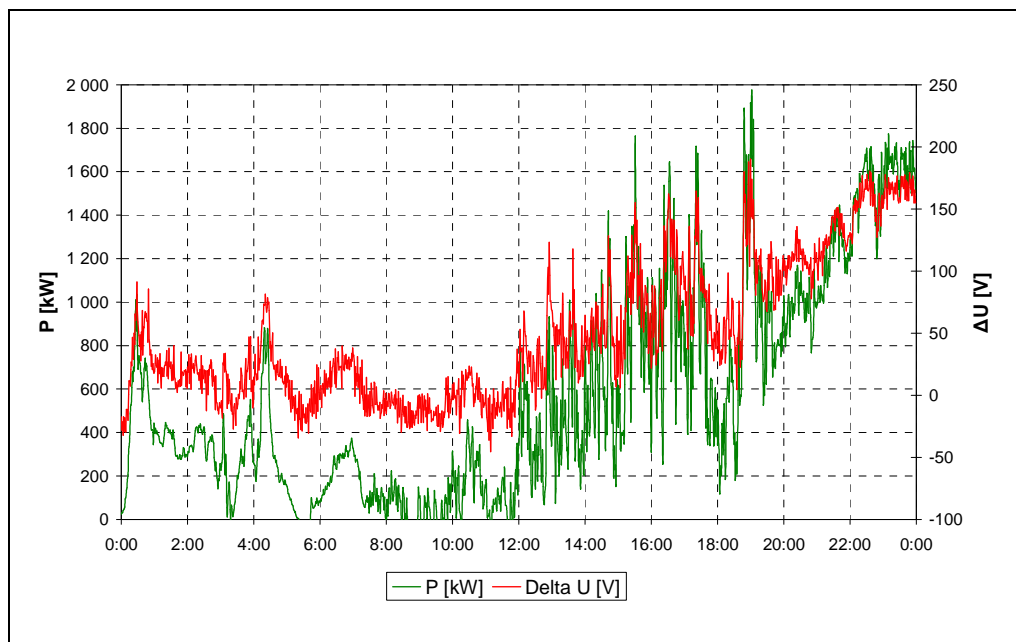


Obr. 23 Výkonové křivka elektrárny Vestas V90

### 5.3.2 Změny napětí

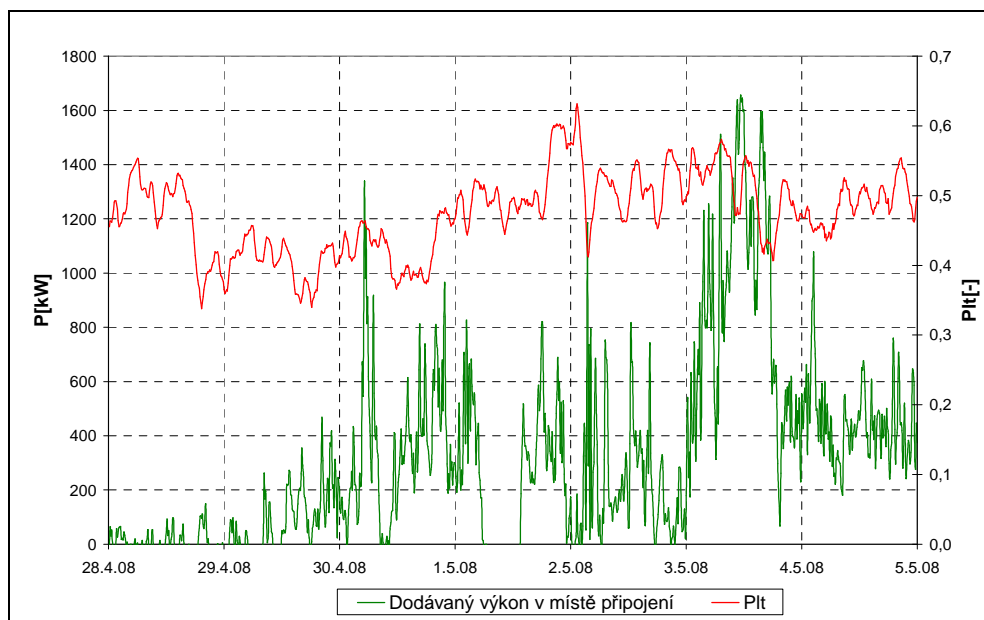
Změna napětí vyvolaná dodávkou výkonu z větrné elektrárny nesmí přesáhnout, pro zdroje připojené do sítě VN, 2% z jmenovité hodnoty. V tomto případě je elektrárna připojena do sítě 22 kV. Z toho vyplývá, že fázové napětí je zhruba 12,7 kV, takže maximální povolená změna napětí je 254 V. Z Obr. 24 je patrné, že během měření se napětí k limitní hodnotě nedostalo, největší odchylka se vyskytla v čase kolem 19:00 a to zhruba 200 V. Takže podmínku bezpečně splňuje. Tato odchylka nastala z důvodu přerušení a opětovného obnovení dodávky výkonu.



Obr. 24 Vliv dodávaného výkonu z VTE na  $\Delta U$ 

### 5.3.3 Dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt}$

Pro místo připojení byla zjištěna 95% hodnota  $P_{lt} = 0,587$  (průměrná hodnota ze tří fází: 0,581, 0,604, 0,577). Vzhledem k tomu, že norma stanovuje přípustnou hodnotu  $P_{lt}$  rovno 1, můžeme konstatovat, že místo připojení splňuje požadavky dané normou. Vzhledem k povolené hodnotě  $P_{lt} = 1$  a námi zjištěné nejvyšší 95% hodnotě  $P_{lt} = 0,604$  lze vyvozovat, že VTE nepřekračuje povolený příspěvek 0,46 z celkové hodnoty  $P_{lt}$  a námi zjištěnou hodnotu 0,604 je nutno brát spíše jako pozadí sítě [16].

Obr. 25 Vliv dodávaného výkonu z VTE na  $P_{lt}$

#### 5.4 Celkové zhodnocení sledovaných parametrů VTE

Účelem měření bylo sledování vybraných parametrů, které bývají provozem větrných elektráren nejčastěji překročeny. Nejdříve byly změřeny hodnoty pro výkonovou křivku. Ze změřených a vypočtených hodnot se sestrojila závislost dodávaného výkonu z větrné elektrárny, na rychlosti větru. Pro porovnání byla do grafu vložena i teoretická výkonová křivka udávána výrobcem elektrárny, firmou VESTAS. Ze sestrojeného grafu je patrné, že průměrná i teoretická výkonová křivka se liší jen nepatrně.

Následující měření bylo zaměřeno na změny napětí. Z Obr. 24 je patrné že hodnota  $\Delta U$  kopíruje celodenní dodávaný výkon s maximální odchylkou zhruba 200 V. Protože je maximální povolená odchylka 254 V, můžeme konstatovat, že větrná elektrárna nezpůsobuje nežádoucí kolísání napětí.

Poslední část měření byla zaměřená na dlouhodobou míru vjemu flikru. Z grafu je patrné, že hodnota flikru kolísá v rozmezí 0,3 – 0,6. Není navíc závislá na velikosti dodávaného výkonu, jak je vidět z Obr. 25. Ačkoliv se hodnota dodávaného výkonu, v období mezi 3 - 4.5.09, zvýšila z 200 W na 1800 W, hodnota flikru se stále pohybovala ve stejných mezích. V týdenním měření byla zjištěná 95% hodnota  $P_{lt} = 0,604$ , která splňuje podmínky dané normou  $P_{lt} = 1$ . Lze odhadovat, že hodnota 0,46 překročena nebyla, a zjištěná hodnota  $P_{lt} = 0,604$  odpovídá pravděpodobně pozadí sítě.

Měřením bylo dokázáno, že zkoumána větrná elektrárna nepřekračuje limitní hodnoty udávané v PPDS. Dá se tedy předpokládat, že větrná elektrárna nezatěžuje distribuční síť nežádoucími zpětnými vlivy.

## 6 Rozbor kvality napětí z fotovoltaické elektrárny

### 6.1 Popis elektrárny

Předmětem analýzy je fotovoltaická elektrárna, zobrazena na Obr. 26. Jedná se o elektrárnu sestavenou ze tří skupin monokrystalických panelů SUNTECH 180S. Jmenovitý výkon skupiny je 33 kW, takže celkový instalovaný výkon je 100 kW. Každá skupina je sestavena z 210 panelů, jejichž hlavní parametry jsou uvedeny v Tab. 7.



Obr. 26 FVE Sudkov.

Tab. 7 Technické parametry použitých panelů

Parametr	Hodnota
maximální výkon	175 W
výstupní tolerance	$\pm 3\%$
proud při $P_{\max}$	4,9 A
napětí při $P_{\max}$	35,8 V
zkratový proud	5,23 A
napětí naprázdno	44,7 V
provozní teplota buněk	$45^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
maximální napětí systému	1000 V
maximální jmenovitý proud pojistky	15 A
sluneční záření	$1000 \text{ W/m}^2$

Výrobná je napojená do měniče KACO 33000XL, zobrazeného na Obr. 27, verze park, který vstupní stejnosměrné napětí a proudy převede na střídavé o požadované amplitudě. Součástí měniče jsou ochrany PAJRAN. Technické parametry ochran jsou v Tab. 8.

Tab. 8 Parametry ochrany PAJRA

Parametr	Hodnota
Podpět'ová	$0,85 \cdot U_n$ ; 0,6s
Přepět'ová	$1,1 \cdot U_n$ ; 0,1s
Nadfrekvenční	51Hz; 0,1s
Podfrekvenční	49,5Hz; 0,1s

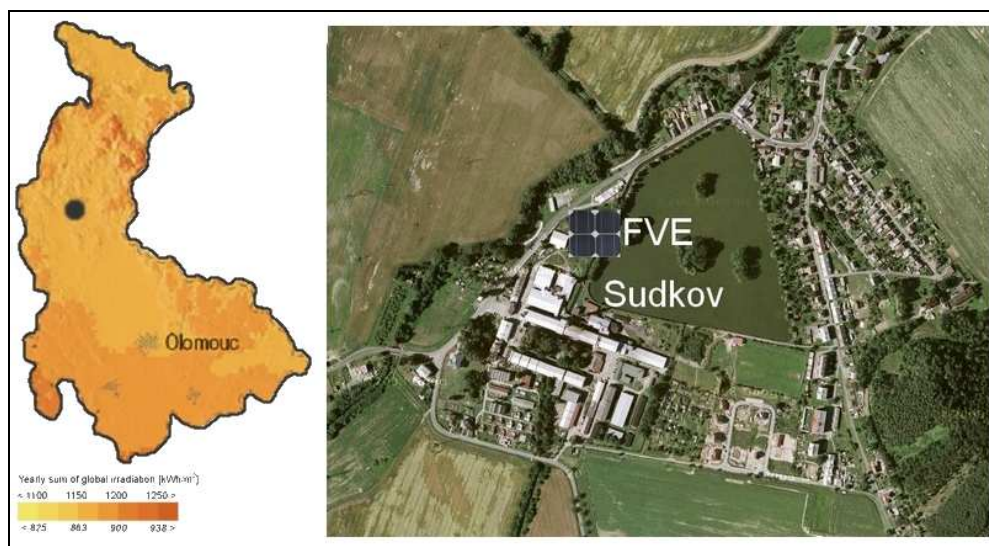


Obr. 27 Měníč KACO

Elektrárna je zaústěna do rozvaděče. Rozvodnu nn tvoří ocelo-plechový rozvaděč RH, umístěný na sloupu trafostanice. Součástí rozvaděče je kompenzace transformátoru s výkonem 4 kVar. Výrobna je přes vlastní trafostanici připojena do distribuční sítě 22kV. Jedná se o bezobslužnou výrobu. Za dobu provozu 75dnů 3h a 27min elektrárna dodala energii 17,203MWh.

## 6.2 Lokalita FVE Sudkov

Z Obr. 28 je patrné, že se elektrárna nachází v Olomouckém kraji, v obci Sudkov, asi 6km od Zábřehu. Na Obr. 28 je také zobrazen výřez mapy slunečního záření Olomouckého kraje, z kterého vyplývá, že elektrárna se nachází v místě s dostatečným slunečním zářením.



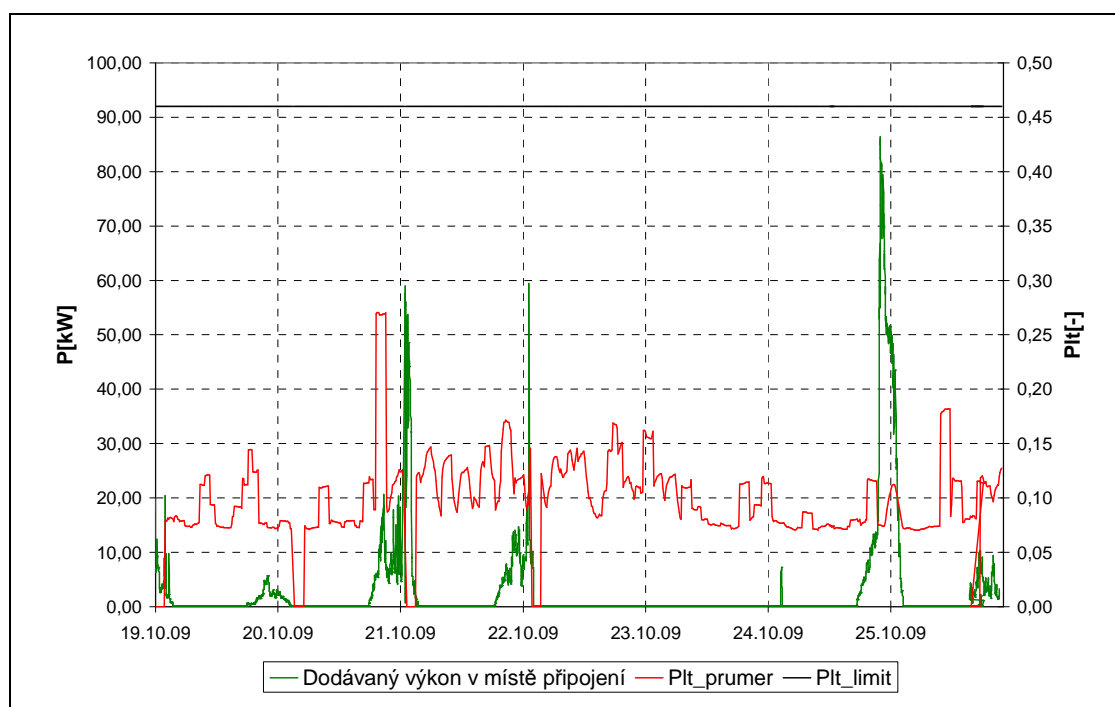
Obr. 28 Lokalita FVE Sudkov

### 6.3 Vlastní měření

Měření bylo zaměřeno pouze na jeden parametr, a to na dlouhodobou míru vjemu flikru, protože hodnoty tohoto parametru bývají většinou nejvíce překročeny.

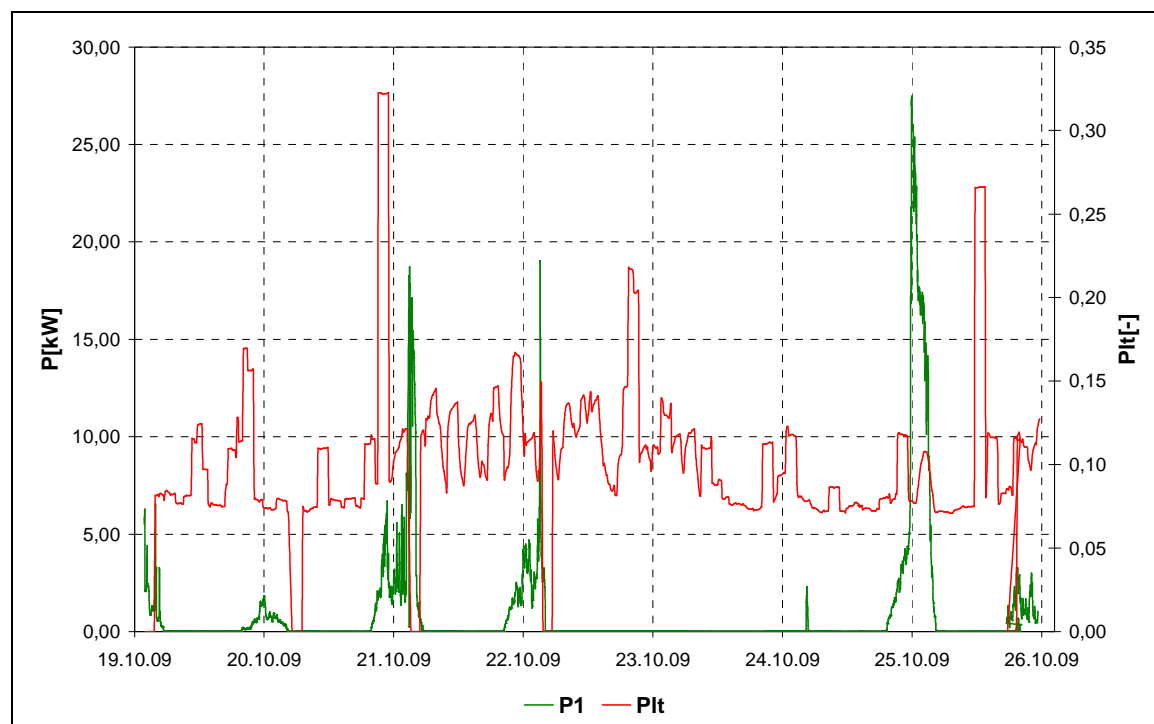
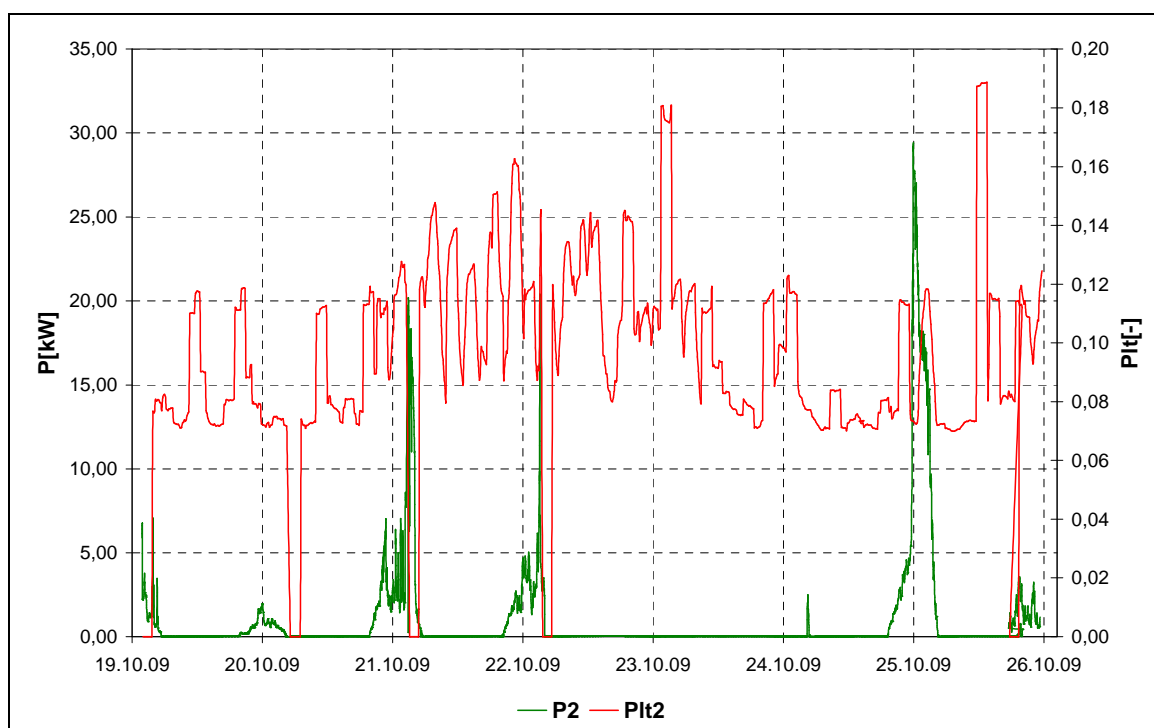
#### 6.3.1 Dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{fl}$

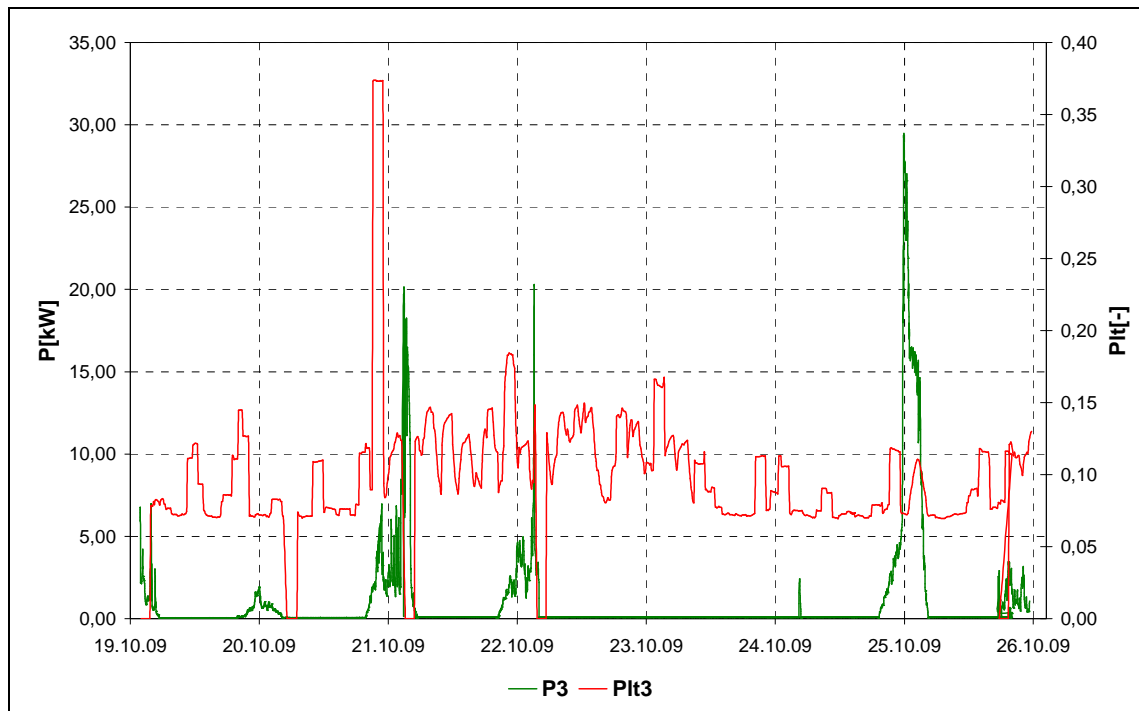
Na Obr. 29 je zobrazen celkový dodávaný výkon fotovoltaické elektrárny a vliv výkonu na flikr  $P_{fl}$ . Z grafu je patrné, že změřené hodnoty flikru  $P_{fl}$  jsou výrazně menší, než předepsaná hodnota. V žádném případě se hodnota flikru nepřiblížila limitní hodnotě 0,46. Situace se sice jeví jako velmi příznivá, ale to je způsobeno tím, že měření probíhalo pouze 14 dní, a navíc na podzim, kdy elektrárny vyrábějí elektrické energie méně. Jak je vidět z Obr. 29 dodávaný výkon se ve sledovaném období většinu pohyboval kolem nuly až deseti kW, pouze ve dnech 21, 22 a 25.10.09 a to vždy jen na pár hodin přesáhl hodnotu 50 kW.



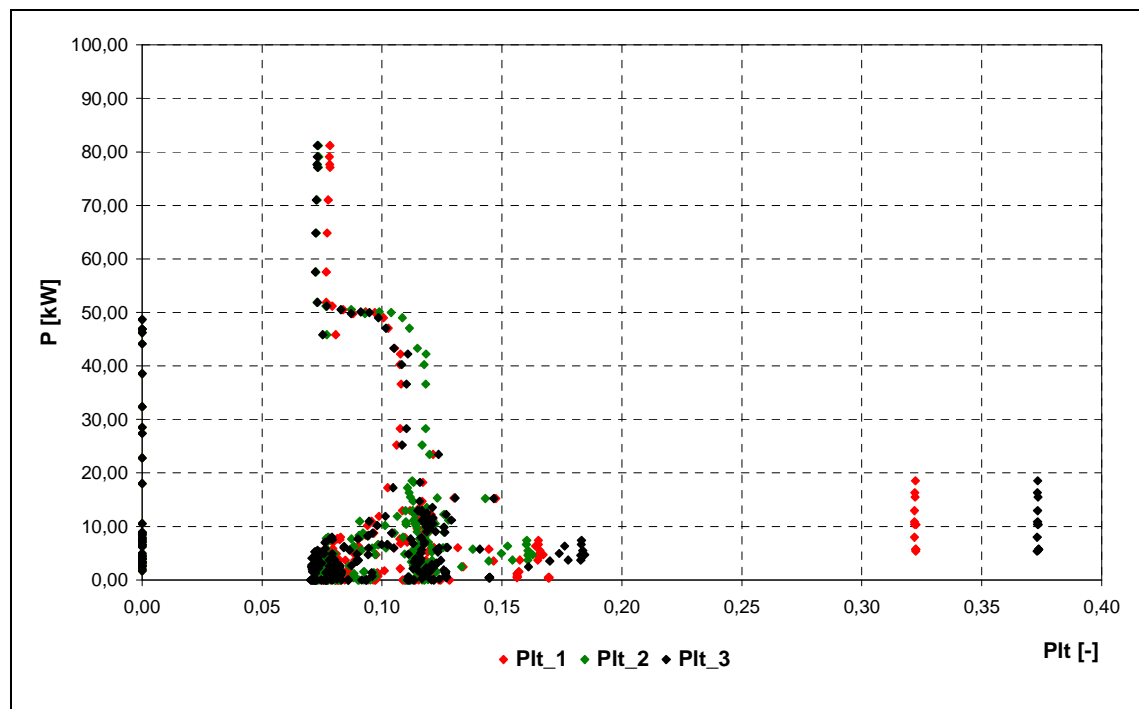
Obr. 29 Vliv dodávaného výkonu z FVS na  $P_{fl}$

Na Obr. 30 až Obr. 32 jsou zobrazeny dodávané výkony z jednotlivých skupin panelů. Ve všech případech je vliv dodávaného výkonu na flikr  $P_{fl}$  mnohem nižší než přípustný.

Obr. 30 Vliv dodávaného výkonu  $P_1$  z FVE na  $P_{It}$ Obr. 31 Vliv dodávaného výkonu  $P_2$  z FVE na  $P_{It}$

Obr. 32 Vliv dodávaného výkonu  $P_3$  z FVE na  $P_{It}$ 

Z Obr. 33 je patrné, že se hodnota flickru nejčastěji pohybuje mezi hodnotou 0,05 až 0,2. Při dodávaném výkonu do 20 kW byla zaznamenána hodnota flickru 0,38. Takže zakázané hodnotě 0,46 se ani nepřiblížila.



Obr. 33 Vliv dodávaného výkonu na flickr

#### 6.4 Celkové zhodnocení sledovaných parametrů FVE

Účelem měření bylo sledování dlouhodobé míry vjemu flikru  $P_{lt}$ . Jedná se totiž o parametr, který bývá provozem fotovoltaických elektráren nejčastěji překročen. Je nutno brát v potaz, že měření probíhalo pouze čtrnáct dní a navíc na podzim, takže ne v příliš vhodných slunečních podmínkách. Tomu odpovídal také dodávaný výkon. Z Obr. 29 je zřejmé, že hodnota dlouhodobé míry vjemu flikru kolísá v určitém rozmezí a aktuální dodávaný výkon na hodnotu flikru nemá vliv. Typickou situací je den 25.10.09, kdy se dodávaný výkon během krátkého času vyhoupl z minimální hodnoty na 90 kW, a po několika hodinách opět klesl téměř na nulu. Flikr na tuto situaci nijak nereagoval. Z Obr. 29 je taky patrné, že hodnota flikru nepřekračuje normou udávanou limitní hodnotu  $P_{lt} = 1$ , a zároveň limitní hodnotu, udávanou v PPDS  $P_{lt} = 0,46$ . Ve většině případů se hodnota flikru držela pod hodnotou 0,2.

Měřením bylo dokázáno, že zkoumána fotovoltaická elektrárna nepřekračuje limitní hodnoty udávané v PPDS. Dá se tedy předpokládat, že z hlediska dlouhodobé míry vjemu flikru, tato elektrárna nezatěžuje distribuční síť nežádoucími zpětnými vlivy.



## 7 Závěr

Evropská komise se obává zmenšujících se zásob fosilních paliv, proto dochází k nátlaku na jednotlivé státy, aby do energetického mixu vlastní země zabudovaly určité procento výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Česká republika se zavázala, že v letošním roce dosáhne výroba z OZ osmi procentní podíl. V ČR se na výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů velkou mírou podílí elektrárny větrné a fotovoltaické, které zatěžují distribuční síť zpětnými vlivy. Z těchto důvodů jsem se zabýval jejich nejčastější problematikou.

Nejdříve jsem se zabýval větrnými podmínkami a vhodnými lokalitami ke stavbě větrných elektráren, dále pak rozdělením větrných motorů a způsobu jejich regulace, a uvedl jsem jejich současný instalovaný výkon. Vhodných lokalit je v České republice stále dostatek. Takže lze další rozšíření větrné energetiky předpokládat.

Další část práce je zaměřená na problematiku fotovoltaiky. Konkrétně na intenzitu slunečního záření v České republice, skladbu fotovoltaických elektráren a na lokality vhodné k jejich rozšíření. Zmínil jsem se o aktuálním problému nadměrného počtu nově podaných žádostí o připojení těchto výroben do ES, způsobené výhodnou cenovou politikou, a také poklesem cen fotovoltaických panelů.

Jak již bylo zmíněno, rozmach výroby elektrické energie z těchto rozptýlených zdrojů, sebou nese spoustu negativ. Mezi nejpodstatnější se řadí ovlivňování distribuční sítě zpětnými vlivy. Proto musí všechny výroby splňovat podmínky pro připojení OZ k distribuční síti, udávané v PPDS, a podmínky udávané v normě ČSN EN 50160. Zaměřil jsem se proto na vybrané parametry a jejich limitní hodnoty.

Pro rozbor kvality napětí z větrné elektrárny posloužily změřená data z elektrárny Veselí u Oder. K hodnocení kvality byly zvoleny pouze dva parametry. Jednalo se o kolísání napětí a dlouhodobou míru vjemu flikru. V obou případech změřené hodnoty nepřekračovaly limitní hodnoty udávané v PPDS. Z výsledku měření je patrné, že zpětné vlivy větrných elektráren nepřekračují stanovené limity. Elektrárny pracují správně a nedochází k nepřiměřenému zatěžování distribučních sítí zpětnými vlivy. Největším problémem ovšem zůstává kolísání výkonu. Setrvačnost větrného motoru sice situaci zlepšuje, ale přesto větrné elektrárny vytvářejí výkonové rázy na distribuční soustavu.

Mezi zásadní problémy provozu fotovoltaických elektráren patří zvýšené hodnoty flikru. Proto byla analýza FVE Sudkov zaměřena pouze na tento parametr. Z uskutečněného 14-ti denního měření, je z vykreslených závislostí zřejmé, že limitní hodnota 0,46 nebyla během měření překročena. Nicméně v budoucnosti by bylo vhodné provést nové, dlouhodobější měření v letních měsících, kdy sluneční záření bude mít pravděpodobně mnohem silnější intenzitu a přenášený výkon se bude blížit jmenovitým hodnotám. Změřené parametry pak určitě budou vypadat odlišně.

Ze zkušeností z FVE vyplývá, že moderní měniče jsou na takové úrovni, že dokážou nežádoucí míru vjemu flikru eliminovat na minimum. Proto i u fotovoltaických elektráren zůstává největším problémem kolísání výkonu, které je ještě horší než u elektráren větrných, protože může probíhat v řádu minut, v rozsahu celého jmenovitého výkonu výroby. Řešením tohoto problému by mohlo být nalezení lepšího způsobu akumulace získané elektrické energie.

## 8 Použitá literatura

- [1] RYCHETNÍK, V., JANOUŠEK, J., PAVELKA, J.: Větrné motory a elektrárny, ČVUT, Praha 1997, ISBN 80-01-01563-7
- [2] LIBRA, M., POULEK, V., Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie, ČZU, Praha 2009, ISBN 80-904311-0-2
- [3] ŠTEKL, J., Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR, část Větrná energie a její možnosti v ČR, ČEZ, a.s
- [4] Ústav fyziky atmosféry AV ČR, [cit. 1.4.2010]
- [5] Dostupné z WWW: < <http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/vetrna-mapa/> >
- [6] ORSÁGOVÁ, P., PTÁČEK, J., MODLITBA, P., MALÝ, J., Potenciál výstavby VTE v ČR a možnosti elektrických sítí pro jejich připojení – část I., ČK CIRED, 2009/11
- [7] VELEK, V., Farma Kryštofovy hamry – ovlivňování napětí v předacím místě a změny účinníku při provozu farmy, ČK CIRED, 2009/11
- [8] Školská fyzika, KOF ZCU, Plzeň 2002, [cit. 1.4.2010], 4x ročně,
- [9] Dostupné z WWW: < <http://sf.zcu.cz/rocnik07/cislomm/1-7def.html> >, ISSN 1211-151
- [10] Isofen Energy dodavatel fotovoltaických systémů, [cit. 1.4.2010]
- [11] Dostupné z WWW: < <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx> >
- [12] Czech RE Agency, [cit. 1.4.2010]
- [13] Dostupné z WWW: < <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika> >
- [14] POSPÍŠIL, J., TUREČEK, P., Vybrané problémy z připojování fotovoltaických zdrojů FVE do sítě VN, ČK CIRED, 2008/11
- [15] Energetický regulační úřad, [cit. 1.4.2010]
- [16] Dostupné z WWW: < <http://eru.cz/> >
- [17] Renewable Energy Sources, [cit. 1.4.2010]
- [18] Dostupné z WWW: <<http://www.renewable-energy-sources.com/2009/10/30/solar-radiation-maps-and-photovoltaic-electricity-potential-for-european-countries/>>
- [19] Ekologické bydlení, [cit. 1.4.2010]
- [20] Dostupné z WWW: <<http://www.ekobydleni.eu/energie/solarni-elektrarny-v-ceske-republice-klubko-problemu-nebo-velka-sance>>
- [21] ČSN EN 50160, Český normalizační institut, 2000
- [22] PROVOZOVATELÉ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV, Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí, provozovatele distribuční soustavy, PPDS příloha 4, 2009
- [23] MIŠÁK, S., PROKOP, L., KREJČÍ, P., SIKORA, T., Provoz větrných elektráren s měniči frekvence, In Elektro – odborný časopis pro elektrotechniku, 2008, vol. 18, čís. 10, 4-8
- [24] ČSVE – Česká společnost pro větrnou energii, [cit. 28.4.2010]
- [25] Dostupné z WWW:< <http://www.csve.cz/>>
- [26] European Wind Energy Association - EWEA , [cit. 28.4.2010]
- [27] Dostupné z WWW:<[http://ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/statistics/gwec/GWEC\\_-\\_Table\\_and\\_Statistics\\_2009.pdf](http://ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/statistics/gwec/GWEC_-_Table_and_Statistics_2009.pdf)>
- [28] ČSN EN 61400-12-1, Český normalizační institut, 2007

- SUNTECH, [cit. 28.4.2010]
- [20] Dostupné z WWW:< [http://www.suntech-power.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=182&Itemid=186&lang=en](http://www.suntech-power.com/index.php?option=com_content&view=article&id=182&Itemid=186&lang=en)>
- [21] Solarbuzz – Portal to the Word of Solar Energy, [cit. 28.4.2010]  
Dostupné z WWW:< <http://www.solarbuzz.com/Marketbuzz2010-intro.htm>>
- [22] ERIMPEX – Fotovoltaické systémy, [cit. 28.4.2010]  
Dostupné z WWW:< <http://www.photovoltaiik.cz/>>
- [23] Fotovoltaika aneb získávání elektřiny ze slunce, [cit. 28.4.2010]  
Dostupné z WWW:< <http://fotovoltaiika.falconis.cz/fotovoltaiika/fotovoltaiicky-panel.php>>
- [24] Department of Electrical Power Engineering, [cit. 28.4.2010]  
Dostupné z WWW:< <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/index.php/oprojektu>>
- [25] Větrná elektrárna PCHERY, [cit. 28.4.2010]  
Dostupné z WWW:< <http://www.vtepchery.cz/upload/img-a16.jpg>>
- [26] Wattsun – fotovoltaika, fotovoltaciké panely, [cit. 28.4.2010]  
Dostupné z WWW:< <http://www.wattsun.cz/fotovoltaiicke-panely.php>>
- [27] VELEK, V., Očekávané dopady vstřikování velkých výkonů větrných elektráren do distribuční a přenosové soustavy, ČK CIRED, 2006/11